مُورفولُوجيَّة سَطْح الأرض

الدكتور
فتحي عبد العزيز أبو راضي
أستاذ الجغرافيا الطبيعية والخرائط
في جامعتي الإسكندرية وبيروت العربية

دار المعرفة الجامعية
٤٠ ش سوتير - الأزاريطة - ت ٤٨٣٠١٦٣
٣٨٧ ش قنال السويس - الشاطبي - ت ٥٩٧٣١٤٦

الطبعة الاولى 1998 م .

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَٰنِ الرَّحِيمِ

إهـداء

إلى روح أبي الطاهرة..

الذي غرس في نفسي حب العلم..

وقادني إلى بداية درب الحياة، ثم رحل إلى بارئه..

تغمده الله بواسع رحمته، وأسكنه فسيح جناته..



هــذه الأرض التــي نحيــا بهــا
كــوكــب ليــس يمُــل الــدورانــا
جــدَّ حــول الشمــس مــذ نشــأتــه
مــا اشتكــى طــول طــريــق أو تــوانــي
فـــادرســـوه عظـــة بـــالغـــة
ثــم حــاكــوه، نشــاطــاً واتــزانــا

من شعر
أبو نزار
(م.م. الصياد)

مقدمة

تعد دراسة مورفولوجية الأرض ومظاهر سطحها أول أركان علم الجغرافية الطبيعية، التي هى أحد فرعي الجغرافية العامة، كما أنها دراسة تسبق أية دراسة جغرافية، وتضع القواعد والأصول لها، على أساس أن سطح الأرض هو المتحف الطبيعي الذي يحتفظ بالظواهر التضاريسية العديدة والمتباينة، كما أنه، وبنفس المكانة، المسرح الطبيعي الذي تمارس عليه مختلف أوجه النشاط البشري. وتأسيساً على ذلك فإن دراسة «مورفولوجية سطح الأرض» ـ وهو العنوان الذي اخترناه لهذا الكتاب ـ لا تكون عادة لذاتها، وإنما هي مدخل تمهيدي أو توطئة هدفها خدمة الفروع الجغرافية الأخرى من طبيعية وبشرية على حد سواء، وإرساء أسس وقواعد المعرفة الجغرافية الطبيعية لدى المبتدئين أو طلاب الجغرافيا في مراحلهم الجامعية الأولى. وبحكم طبيعة الدراسة الجغرافية لظواهر سطح الأرض، وهي دراسة متشعبة، لا بد من الإلمام بعدد من العلوم الطبيعية الأخرى ويأتي على رأسها علم الجيولوجيا والمناخ والهيدرولوجيا (علم المياه).

ويتناول هذا الكتاب بالدراسة مورفولوجية (أو هيئة) سطح الأرض عن طريق إعطاء صورة معبرة عن ظواهر هذا السطح، وعرض وتوضيح الأشكال التضاريسية المتباينة له وتوزيعها في جهات العالم المختلفة. وهي دراسة تشكل، في الواقع، ركناً هاماً من أركان «معرفة المكان» التي هي جوهر الدراسة

الجغرافية ولبها، كما أنها تعالج الأسس والقواعد التي تتطلبها الدراسة التوأم وهي الجيومورفولوجيا التي تهتم بدراسة الأشكال الأرضية، الصغيرة والمصغرة، ليابس سطح الأرض وما طرأ عليها من تغير.

والكتاب الذي بين أيدينا الآن صورة مطورة لجزء كبير من كتاب آخر كنت قد وضعته وصدرت طبعته الأولى عام ١٩٨٣، وكنت قد أعددت مادته العلمية، التي هي حصيلة جهد وخلاصة تجربة تدريس على امتداد سنوات طويلة، لكي تكون بمثابة محاضرات تمهيدية في «الجغرافية الطبيعية» تستطيع أن تمنح الدارس المبتدىء معرفة منظمة عن موضوع العلم ومحاولات الدراسة فيه. ولما كان قد مضى ما يقرب من خمس عشرة سنة على تأليف الكتاب الأول فقد وجدنا من الضروري إعادة صياغة مادته العلمية وأن ينقح ويعدل بحيث يقتصر على دراسة مورفولوجية الأرض، حتى يتمشى مع الغرض الذي وضعناه له، لكي يكون كتاباً متخصصاً يصلح كمدخل تمهيدي أو كبرنامج دراسي عام في الجغرافية الطبيعة بعامة، حتى لا يحرم طلاب هذا اللون من المعرفة من التفاصيل الأساسية التي يصعب إدخالها في المؤلفات العامة، ولكي يضع، في نفس الوقت، أساساً ملائماً يمكن أن يستفيد منه الطالب المتخصص في برامج أعلى من مستوى المبادىء، ويعتمد عليه في استكمال دراسته المتعمقة في علم الجيومورفولوجيا بخاصة.

وطبيعي في كتاب محدود الصفحات أن يعجز عن دراسة كل ظواهر سطح الأرض دراسة جغرافية مفصلة، ولكننا حرصنا ـ وقد أهملنا التفاصيل المفرطة ـ على معالجة الأسس والقواعد الرئيسة وتفسير الحقائق والشواهد البارزة وتعليل السمات والمعالم المميزة لسطح الأرض، بشيء من الاقتضاب، فبدون الأسس والقواعد لا يمكن أن ينهض الصرح، وبدون التفسير والتعليل لا يمكن أن تستقر الأصول عند المستجدين من طلاب هذا اللون من المعرفة. وسيجد القارىء في ثنايا هذا الكتاب أننا حاولنا أن نتبع المنهج الوصفي التعليلي في دراسة ظواهر سطح كوكب الأرض، إذ أن هذا المنهج ـ في رأينا ـ هو أفضل السبل العلمية في

مثل هذا النوع من الدراسة، كما أنه لا غني عنه في هذا الصدد إذ أنه يساعد، بسهولة ويسر، على توصيل الحقائق العلمية وإيصال المعرفة الجغرافية للأذهان الناشئة في مجال الدراسة الجغرافية بعامة.

ويتكون إطار هذا الكتاب من ثلاثة أبواب تحتوي على اثنى عشر فصلاً، الباب الأول منها يشتمل على أربعة فصول تدور حول دراسة نشأة كوكب الأرض وتطوره من خلال التعرف على سماته وملامحه العامة التي يمكن أن تفيد في كشف أسرار وحدات (كواكب) النظام الشمسي، وكيفية بدء الحياة، والبحث عن شواهد لها من أي نوع على سطح الكواكب الأخرى غير كوكب الأرض. ويعالج الفصل الأول الفضاء الكوني والنظام الشمسي بصورة توضح وحدات كل منهما مع التركيز على صفات وخصائص وحدات النظام الشمسي. أما الفصل الثاني فيختص بدراسة نشأة وخصائص كوكب الأرض كوحدة من وحدات النظام الشمسي، كما عالج هذا الفصل مختلف النظريات، القديمة والحديثة، التي تفسر تلك النشأة والخصائص والسمات الخاصة بسطح الأرض وشكلها العام وتوازن قشرتها، وقد جاءت معالجته لها في الحدود الضيقة التي فرضتها الظروف مختصرة موجزة، حتى ليخيل إلى من يقرأها أن الحقائق الواردة فيها تعوزها الحجج التي تؤيدها وتساندها، وتنقصها الأدلة التي تعززها وتقويها، وأنها مفروضة عليه فرضاً. إلا أنه في الواقع أن دراسة هذه النظريات ومقارنة بعضها ببعض، ومناقشة الخجج التي يقدمها المؤيدون والمثالب التي يدفع بها المعارضون تعد من الأمور الممتعة والشيقة في الوقت نفسه. ويعالج الفصل الثالث الحقائق البارزة الخاصة بتوزيع اليابس والماء (القارات والمحيطات) كما هو عليه الآن، كما يناقش محاولات تفسير هذا التوزيع. ويختص الفصل الرابع بدراسة مكونات ومواد القشرة الأرضية. وقد حاولنا في هذه الدراسة أن نختار أهم المعادن والصخور التي تتكون منها هذه القشرة الصلبة التي نعيش عليها والتي لها أهمية خاصة في الدراسة الجغرافية بصفة عامة.

ويعرض الكتاب في الباب الثاني لدراسة التركيب البنائي للقشرة الأرضية

في خمسة فصول (من الفصل الخامس حتى الفصل التاسع) تركز الاهتمام على دراسة المسببات وتحليل العوامل التي تشكل سطح الأرض على مر الأزمنة والعصور الجيولوجية وجعلته يبدو بهيئته الراهنة وصورته الحالية. ويعالج الفصل الخامس العوامل الداخلية (الباطنية)، البطيئة والسريعة وتأثيرها في بنية الجهات المختلفة من الأرض وفي تضاريس سطحها. ويدرس الفصل السادس العوامل الخارجية (السطحية) والعمليات المختلفة التي يتضمنها كل عامل من هذه العوامل والمهام العديدة التي يقوم بها في النحت والنقل والإرساب، ونصيب كل منها في تشكيل سطح الأرض وتغيير معالمه. ويعالج الفصل السابع حركات القشرة الأرضية من حيث المظاهر والأسباب وأهم النظريات ووجهات النظر التي تفيد في تفسير ظاهرات سطح الأرض. ويختص الفصل الثامن بدراسة مناطق الثبات والحركة في القشرة الأرضية، والهدف من هذه الدراسة هو التعرف على خصائص وسمات تلك المناطق بشقيها، حيث تقاوم الأولى الضغوط ولا تتأثر بها كما تكوّن البقية الباقية من كتل القارات القديمة والنوى التي نمت حولها القارات الحديثة، بينما تمثل الثانية مناطق الضعف في قشرة الأرض، كما أنها الأحدث في التكوين والأكثر انتشار في بناء القارات الحديثة. ويتناول الفصل التاسع دراسة الغلاف المائي لكوكب الأرض الذي يشتمل على عدد كبير من المسطحات المائية التي تتألف منها الأجسام الكبرى للبحار والمحيطات، والمياه القارية، من أنهار وبحيرات ومياه باطنية غائرة في الحيز الخارجي من صخور القشرة الأرضية، بالإضافة إلى الماء المتجمد (الجليد).

ويعني الباب الأخير (الباب الثالث) من الكتاب بدراسة الأشكال التضاريسية الكبرى التي يتألف منها سطح الأرض وذلك في ثلاثة فصول (من الفصل العاشر حتى الفصل الثاني عشر)، ويحدد، في شيء من الدقة، أنواعها المختلفة والمناطق التي يوجد فيها كل نوع، والظروف التي أحاطت بتكوينه وأصول وأساس نشأته. إذ أن هذه الأشكال ما هي إلا نتاج لعمليات باطنية متعددة بعضها سريع وبعضها بطيء، كما أنها نتاج لعمليات ظاهرية بعضها له

تأثير شديد وسريع والبعض الآخر له تأثير بطيء بسيط. ويعالج الفصل العاشر الجبال والتلال من حيث أن الأولى هي أشكال أرضية بارزة شديدة التضرس ذات ملامح نافرة، أما الثانية فتشبه الجبال من حيث الوعورة والتضرس ولكن على نطاق مصغر. أما الفصل الحادي عشر فيختص بدراسة الهضاب التي هي ظاهرة تضاريسية تأخذ من الجبال شموخ المناسيب وتأخذ من السهول انبساط الأسطح العليا واستواءها. ويهتم الفصل الأخير (الفصل الثاني عشر) بدراسة السهول التي هي الأراضي المنبسطة المستوية قليلة الانحدار، لطيفة التضرس، باهتة المعالم، خافتة الملامح.

وفي المحصلة، لا ندعي أننا خلقنا كل ما جاء في مضمون هذا الكتاب، أو أضفنا به إلى العلم نظريات حديثة، لأنه كتاب دراسي يعالج القواعد الأساسية التي تقوم عليها بعض الدراسات الجغرافية، وهي قواعد ثابتة استقرت الآن بين جمهور علماء الجغرافيا بعامة والجغرافية الطبيعية بخاصة. ولا ندعي كذلك أننا قد أحطنا بكل تلابيب المادة العلمية وأمسكنا كل خيوطها، أو أننا قد جمعنا العلم من أطرافه، فهناك موضوعات كثيرة مما يدخل عادة ضمن إطار «جغرافية سطح الأرض» رؤي عدم الخوض فيها، إما تجنباً لتضخم حجم الكتاب، أو لكون بعض الموضوعات مما يدرس بتفصيل أكثر في برامج دراسية أعلى من مستوى المبادىء والأسس. فعلى سبيل المثال يتعرض الكتاب للغلاف المائي، الذي هو أحد الأغلفة الأربعة لكوكب الأرض، بشيء من الاقتضاب، وكذلك الحال بالنسبة لموضوع العوامل الخارجية (السطحية) الي تؤثر في سطح الأرض، فقد اكتفينا في معالجتها بذكر شيء عن العموميات الشاملة، أما التفصيل والإسهاب فمن شأن دراسة أكثر استفاضة وتحليلاً.

ومن نافلة القول أن دراسة ظواهر سطح الأرض تقوم على شرح الحقائق العلمية عن هذه الظواهر مما تستدعي من القارىء بذل المزيد من الجهد في استيعاب تفصيلاتها، لذلك فقد حرصنا على كتابة المتن بأسلوب سهل، وعرض المعلومات والمفاهيم الأساسية عرضاً مبسطاً ولكنه شاملاً للتطورات الحديثة في

هذا الميدان. كما زودنا الكتاب، في المواضع المناسبة، بمجموعة كبيرة من الخرائط والأشكال التوضيحية والصور الفوتوغرافية، جمعت من الدقة والعمق والإيجاز، لكي تعين القارىء على استيعاب مضمون الكتاب وفهم فحواه، وإيماناً منا بأن كثيراً من موضوعات الكتاب تحتاج إلى مشاهدات قد لا تتيسر لطلاب البحث في مجال دراسة ظواهر سطح الأرض. وسوف يتضح للقارىء أن الكتاب في مادة العلمية يعتمد على كثير من أحدث المراجع المصادر العربية والأجنبية التي عالجت وتعالج نفس موضوعات هذا الكتاب، وقد آثرنا عدم ذكر هذه المراجع والمصادر في الحواشي واكتفينا بإلحاقها في ثبت في نهاية الكتاب ليرجع إليها من يريد التوسع في البحث والتعمق في الدراسة والوقوف على التفصيلات، نظراً لأن المادة العلمية المستقاة أو المستخلصة منها هي من قبيل المعلومات الدارجة والمتعارف عليها والتي ليس فيها من الأصالة ما يحتم ذكر المرجع أو المصدر. ولا يقتصر ذلك على المتن فحسب، بل أن معظم الخرائط والأشكال التوضيحية قد نقلت عن هذه المراجع والمصادر بشيء من التصرف. وعذرنا في هذا كله أن موضوعات الكتاب كانت، كما ذكرنا آنفاً، محاضرات ألقيت على طلاب بداية المرحلة الجامعية في الجامعات المصرية والعربية لعدة سنوات ، وثم تجميعها وتنقيحها وتنسيقها لتظهر على هذه الصورة لتكون أشمل إفادة وأعم فائدة للطالب المتخصص والقارىء العادي على حد سواء.

والكتاب بصورته الحالية وموضوعاته المحددة والمجددة لا يبز أمثاله ولا يزاحم أقرانه، في نفس الميدان، ليحل محلهم، كما لا ينكر الجهود المشكورة التي بذلت في ذات المجال، فما زال بالمكتبة الجغرافية العربية متسع لاستيعاب هذا الكتاب على الأقل لمجرد تنويع وتعدد المراجع والمصادر أمام القارىء العام والطالب المبتدىء في المرحلة الجامعية والباحث المتخصص في ميدان الجغرافية الطبيعية، لينهل منها الجميع كل حسب احتياجه. وأود هنا أن أتقدم بالشكر الجزيل إلى كل من شجعني على إخراج هذا الكتاب، وأخص بالشكر أساتذتي وزملائي بقسم الجغرافيا بجامعة الإسكندرية الذين أفدت كثير من

توجيهاتهم السديدة وإرشاداتهم القيمة. كما أود هنا أن أزجي الشكر للسيد/ حسان كريدية صاحب دار النهضة العربية ببيروت ـ لبنان، والحاج صابر عبد الكريم صاحب دار المعرفة الجامعية بالإسكندرية ـ مصر، على تفضلهما بطباعة ونشر هذا الكتاب.

وبعد، أرجو أن يكون هذا الكتاب قد حقق الغرض الذي استهدفته، وأن أكون قد وفقت في حمل جزء من الرسالة التي تتعهدها الجامعة، وفي الوفاء بقسط مما أدين به للعمل الذي أضطلع بأعبائه. وقد بذلت غاية الجهد، وما أتوقع الكمال فهو لله وحده، أسأله العصمة من الأشِر، وأعوذ به من البطر، واستهديه السبيل الأرشد، والطريق الأقصد، له الحمد، ومنه التوفيق، وبه نستعين، وعليه قصد السبيل..

بيروت ـ الحمرا   **فتحي أبو راضي**

في أول مارس (آذار) ١٩٩٨.

البـــاب الأول

نشأة وخصائص ومكونات كوكب الأرض

البـــاب الأول

نشأة وخصائص ومكونات كوكب الأرض

مقـدمــة:

يعالج هذا الباب من الكتاب عدداً من النظريات الحديثة الخاصة بنشأة الأرض وتوازن قشرتها، وخصائص باطنها وسطحها، والمكونات المعدنية والصخرية لقشرتها. وقد جاءت معالجة كل هذه الموضوعات في الحدود الضيقة التي فرضتها الظروف مختصرة موجزة حتى ليخيل إلى القارىء أن الحقائق الواردة تعوزها الحجج التي تؤيدها، وتنقصها الأدلة التي تعززها، وأنها مفروضة عليه فرضاً. والواقع أن دراسة هذه النظريات، وسرد تلك الحقائق، ومناقشة الحجج، ومقارنة بعضها ببعض يستلزم قدر من الدراسات التي لها أهمية عند دراسة جغرافية سطح الأرض.

ولما كان علم الجغرافيا بشتى فروعه يركز بؤرة اهتمامه على كوكب الأرض وبصفة خاصة سطحه الخارجي وما عليه، ولما كان الإنسان في سعي دائب ومستمر لاستكشاف الفضاء المحيط بهذا الكوكب الذي يعيش عليه، في محاولة لزيادة الفهم بالعناصر والمتغيرات المؤثرة في بيئته، وفي الوقت عينه لتوسيع حيز هذه البيئة، فإنه من المفيد في مثل هذه الدراسة الراهنة الإلمام بموقع الأرض من هذا الفضاء، خاصة في نطاق النظام الشمسي (المجموعة

الكوكبية) الذي ينتمي إليه. فعلى الرغم من أن كوكب الأرض يبدو لنا جسماً هائلاً عظيم الأبعاد، فسيح السطح، فإنه في واقع الأمر ليس إلا فرداً متواضعاً من أفراد النظام الشمسي (المجموعة الشمسية)، وفي الوقت نفسه فإن الشمس، ذلك النجم الأعظم الذي تتمركز حوله كل هذه المجموعة، فإنها وما يتبعها من كواكب سيارة وتوابع ممثلة في الأقمار، ليست سوى إحدى المجموعات النجمية (أو المجرات) التي لا تحصى، والتي يزخر بها فضاء الكون الرحيب المتسع.

الفصـــل الأول

الفضاء الكوني والنظام الشمسي

الفضاء الكوني والنظام الشمسي

يعرف الفضاء الكوني Universe بأنه الوسط الذي لا أثر للهواء فيه، وهو بذلك وسط تنعدم خلاله معوقات أو مقومات حركة الأجسام أو الأجزاء التي تسبح فيه ويشغل الفضاء الكوني خضم لا تحده حدود واضحة ولا تظهر له نهاية معينة، وتوجد فيه الأجرام السماوية كما تنتشر بين أجزائه طاقات من الحرارة والضوء وسحب وغازات متفاوتة الكثافة وجسيمات متناهية في الصغر عظيمة الحركة لا حصر لها. ويتكون الفضاء الكوني أو الكون من وحدات عظمى هي المجرات Galaxies التي لا حصر لها أيضاً، والتي تبدو في شكل تجمعات أو مجموعات Group of Galaxies والمجموعة التي تنتمي إليها المجرة التي تعيش في جزء منها تتكون من ٢٧ مجرة، وكل مجرة تتكون من آلاف الملايين من النجوم (أو الشموس) التي تبعد عن بعضها بآلاف البلايين من الكيلومترات، وفيما بين النجوم تنتشر الغازات وتوجد السحب والأتربة الكونية، كما هي الحال في طريق التبانة (أو الطريق اللبني Milkway) التي تتزاحم عليه النجوم والشموس في المجرة التي شمسنا الحالية جزء منها، كما يتكثف فيه مع الغازات المنتشرة بين نجوم عدد كبير جداً من ذرات العناصر الثقيلة لتكون سحب من الأتربة التي تنتج عنها ما يشبه الضباب الكثيف، (وهي تسمية تشبه الشكل السحابي للمجرة بمنظر التبن المبعثر على الطريق أو تشبه اللون الأبيض الباهت للشكل السحابي للمجرة بلون اللبن) كما في الشكل رقم (١ ـ ١).



شكل رقم (١ـ ١) جزء من الطريق اللبني (طريق التبانة) لمجرتنا

وتتباين المسافات بين النجوم في الفضاء الكوني تبايناً شاسعاً، فأقرب النجوم أو مجموعاتها والتي تسبح في مجرتنا (طريق التبانة) قد يصل ضوؤها إلى مجموعتنا الشمسية في بضع سنين (تبلغ سرعة الضوء ٢٩٨٧٢٨ ألف كيلومتر/ ثانية). وأبعدها يصلنا ضوؤها بعد أن يكون هذا الضوء قد قطع المسافة بيننا وبين هذه النجوم في حوالي ألف سنة، أي تبعد عنا بنحو ألف سنة ضوئية (السنة الضوئية هي الوحدة المستخدمة في تقدير الأبعاد بين النجوم، وتعادل نحو عشرة الملايين من الكيلومترات). ولزيادة توضيح الأبعاد الشاسعة بين النجوم المنتشرة في الفضاء الكوني المترامي الأطراف، نضرب مثلاً بموجات الراديو والمسافات التي تقطعها بين نجوم مجرتنا فقط. فلو أرسلنا إشارة بالراديو من الأرض نحو الفضاء الخارجي فأنها تستغرق ٨و١ ثانية لتصل إلى القمر و ٨ دقائق لتصل إلى الشمس و ٤ سنوات تقريباً لتصل إلى أقرب نجم



شكل رقم (٢ ـ ١) السديم اللولبي سديم المرأة المسلسلة
لاحظ شدة توهج ولمعان منطقة وسط السديم

لمجموعتنا الشمسية وهو النجم الذي يعرف باسم Prexima Centauri، ونحو ٢٠ سنة لكي تصل إلى نجم آخر يبعد قليلاً عن المجموعات الشمسية يعرف باسم Delta Pavonis، ونحو ٢,٢ مليون سنة أرضية لتصل إلى أقرب المجرات لمجرتنا وهي المجرة التي يمكن رؤيتها بالعين المجردة وتعرف باسم مجرة المرأة المسلسلة (اللولبية) Andromeda Spiral، وتتميز هذه المجرة بتكاثر الغازات في بعض أرجائها كما تلمع فيها كثير من النجوم التي تعرض باسم «البراقة» وذلك بسبب عظم توهجها وشدة لمعانها.

والنجوم الأخيرة تختلف عن نجم الشمس (أو النجم المتزن) في أنها سريعاً ما تنفجر لعدم إتزانها بسبب زيادة ما تفقده من طاقات، تتولد داخلها بعمليات التفجير الذري، إلى الفضاء بواسطة الإشعاع المتزايد من سطوحها. وينتج عن انفجار هذه النجوم تناثر كميات هائلة من حطام المادة التي تتكون منها وعناصرها في الفضاء، بعضها يتجمع في ظل النجوم المجاورة وينشأ عنها الكواكب السيارة.

ويعتقد العلماء أنه ينفجر نجم واحد في المتوسط من النجوم المتوهجة في طريق التبانة كل ٢٠٠ أو ٣٠٠ سنة أرضية. ويكون قد انفجر، تبعاً لرأي العلماء، نحو عشرة ملايين من مثل هذه النجوم في مجرتنا فقط منذ نشأتها الأولى. وإذا صح ذلك فإننا نتوقع أن يكون في طريق التبانة عدة ملايين من مجموعات الكواكب السيارة حول شموس أخرى تشبه في مضمونها مجموعتنا الشمسية.

وكما ذكرنا فأن الفضاء الكوني المرئي لنا الأن يتكون من عدة ملايين من المجرات ولذا لا يمكن، بل من الاستحالة، رسم خريطة جامعة شاملة لهذا الكون حتى لو استخدمنا مقاييس الرسم المتناهية في الصغر. فلو استخدمنا مثلاً مقياس الرسم ١/ ١٠٠ من المليون من السنتيمتر الواحد (وهو يساوي قطر ذرة الهيدروجين) فإن قطر شمسنا الحالية سيصل إلى ٢٥ متراً، والمجرة التي تتضمن مجموعتنا الشمسية سيصل قطرها إلى ٦٩ متراً، وأن قطر التجمع أو المجموعة

(جدول رقم: ١٠) مكونات النظام الشمسي وتوابعه

اسم الكوكب	الرمز	طول قطر الكوكب بالكيلومترات	المسافة بين الكوكب والشمس (بالألف كيلومتر)	الجاذبية (جاذبية الأرض= ١)	عدد التوابع	المدة التي يستغرقها الكوكب في دورانه حول محوره	معدل الكثافة (جرام/٣ سم)	المدة التي يستغرقها الكوكب في دورانه حول الشمس	متوسط سرعة دوران الكوكب (كيلومتر/دقيقة)
عطارد Mercury		٥١٠٠	٥٧٨٧٠	٠,٣٨	-	٥٩ يوم أرضي؟	٥,٣٠	٨٨ يوم أرضي	٤٨,٠٠٠
الزهرة Venus		١٢٦١٠	١٠٨١٤٠	٠,٨٨	-	٢٣٤ يوم أرضي؟	٥,٢٠	٢٢٤ يوم أرضي	٣٥,٠٠
الأرض Earth		١٢٧٥٧	١٤٩٥٠٠	١,٠٠	١	٢٣ ساعة و ٥٦ دقيقة و ٤ ثواني (يوم واحد)	٥,٥٢	٣٦٥ يوم أرضي	٢٩,٦٠
المريخ Mars		٦٨٠٠	٢٢٧٨٠٠	٠,٣٩	٢	٢٤ ساعة و ٣٧ دقيقة و ٢٣ ثانية	٣,٨٥	٦٨٦ يوم أرضي	٢٤,٠٠
المشتري Jupiter		١٤٣٦٤٠	٧٧٧٨٤٠	٢,٦٤	١٢	٩ ساعات و ٥٠ دقيقة	١,ظا	٩٠ و١١ سنة أرضية	١٢,٨٠
زحل Saturn		٧٥٣٦٠	١٤٢٦١٠٠	١,١٧	١٧	١٠ ساعات و١٤ دقيقة	٠,٦٨	٢٩,٤٦ سنة أرضية	١٠,٤٠
أورانوس Uranus		٥٣٣٩٠	٢٨٦٧٨٣٠	١,٠٥	٥	١٠ ساعات و ٤٩ دقيقة	١,٠٩	٨٤,٠١ سنة أرضية	٦,٤٠
نبتون Neptune		٤٩٧٦٠	٤٤٩٣٦٥٠	١,٥٠	٣	١٥ ساعة و٤٨ دقيقة	١,٦١	١٦٤,٧٩ سنة أرضية	٥,٦٠
بلوتو Pluto		٥٨٦٠	٥٨٩٩٠٤٠	٠,٢٥١	-	٦يوم أرضي و٧ساعة؟	٤,٠٠؟	٢٤٨,٩ سنة أرضية	٤,٨٠

Andromeda Spiral سيصل إلى ١٦٠٠ متراً (١,٦ كيلو متراً)، وأن حدود هذا الكون ستقع منا على أشبه شيء بالسطح الكروي الذي سيبلغ قطره تبعاً للمقياس الأساسي السابق، نحو ٣٢٠٠٠٠٠٠ متراً (٣٢٠٠ كيلو متراً).

وبطبيعة الحال تُرينا الأرقام السابقة، على أساس هذا المقياس المتناهي الصغر، معنى الفراغ الذي يشغله الفضاء الكوني بما فيه من مجرات ونجوم وشموس وكواكب لا حد لها ولا حصر في كل ركن من أركان الكون.

النظام الشمسي Solar System:

قلنا أن مجموعتنا الشمسية وأفرادها من كواكب، وأقمار، أو ما يعرف بالنظام الشمسي واحدة من الوحدات أو التوابع التي تتكون منها المجرة التي تسبح فيه مع غيرها من المجرات العديدة في الفضاء الكوني المترامي الأطراف الذي حاولنا وصفه. والجزء من الفضاء الكوني الذي تسبح فيه وحدات المجموعة الشمسية هو الفضاء القريب لنا (أي القريب من الأرض)، والذي تسبح فيه أيضاً الأقمار الاصطناعية لا يكون في جملته إلا جزءاً متناهياً في الصغر بالنسبة لخضم الفضاء الكوني البعيد. وعلى عكس تقدير المسافات في هذا الفضاء الأخير بالسنين الضوئية كما ذكرنا، نجد أن العلماء يقدرون المسافات عبر الفضاء القريب بوحدات فلكية أصغر هي متوسط بعد الأرض عن الشمس كما في الجدول رقم (١).

ويتكون النظام الشمسي من الشمس التي تتوسط مجموعة من عشرة كواكب رئيسية Planets بأقمارها Satellites. وتدور هذه الكواكب حول الشمس في مدارات غير كاملة الإستدارة بل بيضاوية الشكل، وهي التي تسمى علمياً «مدارات قطع ناقص Elliptical Orbits» ولهذا يتغير البعد بين الشمس والكواكب أثناء دوران الأخيرة في مداراتها... فمثلاً تبلغ أقل قيمة للمسافة بين الأرض والشمس ١٤٧،٠٠٠،٠٠٠ كيلو متراً (٩١،٥٠٠،٠٠٠ ميلاً)، أما أكبر

قيمة فتبلغ ١٥٢،٠٠٠،٠٠٠ كيلو متراً (٩٤،٥٠٠،٠٠٠ ميلاً). وبالرغم من ذلك فأن المسافة بين عرض مبسط لأهم مكونات النظام الشمسي) شكل رقم (٣ ـ ١).

أولاً: الشمس The Sun:

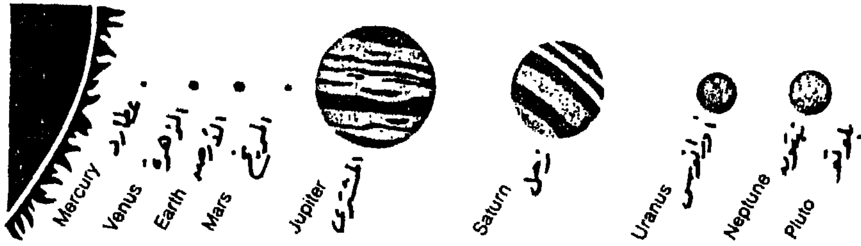
الشمس عبارة عن نجم من النجوم التي تسبح في الفضاء، وهي أهم وأبهى نجم في الكون بالنسبة لسكان الأرض، ويبلغ قطر الشمس ١،٣٧٦،٠٠٠ كيلو متراً (٨٦٠،٠٠٠ ميلاً)، وهو من الحرارة بحيث يضيء نفسه، إذ تبلغ درجة حرارة سطح الشمس حوالي ٦٠٠٠ درجة مئوية تزيد إلى حوالي ٢٠ مليون درجة مئوية في المركز، ومثل هذه الحرارة تستطيع أن تصهر وتبخر أي مادة، فلا عجب إذن من أن كل الطاقة التي يستمدها النظام الشمسي مبعثها ومصدرها نجم الشمس. وتتكون الشمس بذلك من كتلة غازية ملتهبة تتألف من عنصرين أساسيين هما الإيدروجين والهليوم فهما يكونان معاً ٩٩,٩٪ من كتلتها، ولهذا فإن الثقل النوعي للشمس يبلغ فقط ١/ ٤ الثقل النوعي للأرض.

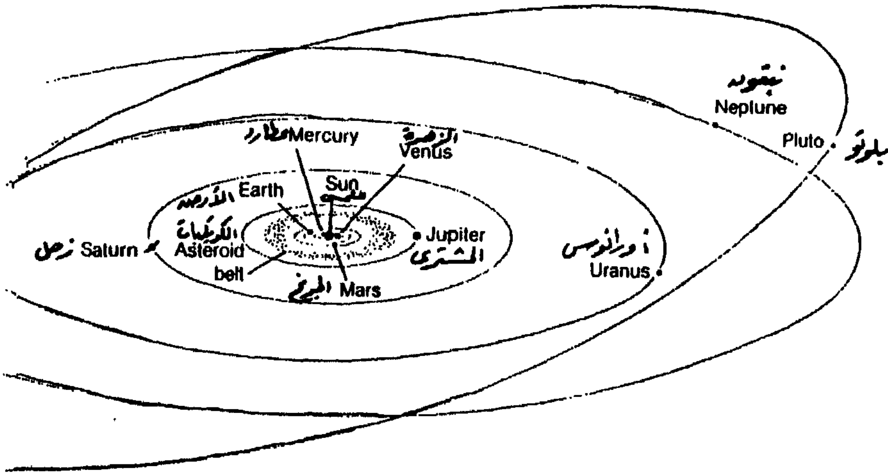
وخلال الشهور الأولى من عام ١٩٨٣ اكتشف علماء الفلك في جامعة كمبردج بإنجلترا نجماً جديداً، عند حافة مجرتنا يدور ٦٠٠ دورة كل ثانية، ويرسل هذا النجم، الذي اكتشف بالمكشاف اللاسلكي نبضات لاسلكية أكثر من ٦٦٠ مرة كل ثانية وبسرعة تفوق عشرة أضعاف سرعة إرسال النبضات من أية نجوم أخرى تجري مراقبتها من الأرض، ويعتقد العلماء أن قوة النجم المكتشف تعادل عشرة أضعاف قوة الشمس.

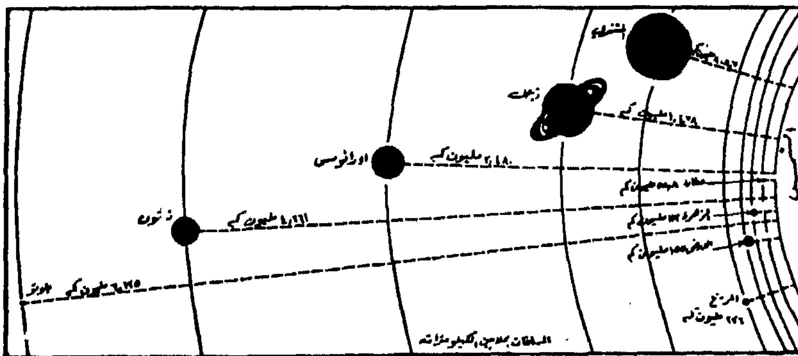
ثانياً: الكواكب The Planets:

هي أجسام كونية معتمة تستمد نورها من الشمس. وعلى الرغم من أنها تختلف عن بعضها في الكتلة والحجم والكثافة والبعد عن الشمس فأنه يمكن تقسيمها إلى مجموعتين حسب أحجامها هما:

أ ـ مجموعة الكواكب الصغيرة وتشمل عطارد والزهرة والأرض...







(شكل رقم: ٣ ـ ١): النظام الشمسي وأبعاد مدارات الكواكب عن الشمس

والمريخ، وطبيعتها صلبة كالأرض وتتشابه في تقارب كثافة مادتها ولهذا السبب كثيراً ما يطلق عليها العلماء اسم «مجموعة الكواكب الأرضية».

١ ـ كوكب عطارد Mercury

هو أصغر أفراد المجموعة إذ يبلغ قطره بنحو ٥١٠٠ كيلو متر (٣١٨٨ ميلاً)، أي نحو ٢/٥ قطر الأرض، كما أنه يدور في أصغر المدارات حول الشمس ونتيجة لذلك يتم دورته حول الشمس في ٨٨ يوم أرضياً فقط. ونظراً لقربه من الشمس يشتد عليه الإشعاع الشمسي الذي يبلغ عشرة أمثال شدته على الأرض عندما يكون في نقطة الرأس من مداره حول الشمس وخمسة أمثالها حينما يكون في نقطة الذنب. ومما يبرهن على ذلك أن درجة الحرارة عند دائرة استوائه تصل إلى نحو ٣٤٥ درجة مئوية، ولكنها تنخفض كثيراً أثناء ليله الطويل حتى تصل إلى ـ ١٨٥ درجة مئوية.

ويتميز كوكب عطارد بأنه لا يحيط به غلاف جوي مثل غلاف الأرض يحميه من الإشعاع الشمسي نظراً لأن ذرات معظم الغازات تتحرك بسرعة وتهرب منه إلى فضاء النظام الشمسي تبعاً لانخفاض جاذبيته التي تعادل ١/٢ جاذبية الأرض ـ وارتفاع درجة حرارته.

وقد كان يعتقد العلماء أن دورتي كوكب عطارد متعاصرة بمعنى أنه يستغرق زمناً موحداً في دورته حول محوره وحول الشمس. ولكن في منتصف الستينات (١٩٦٥) اكتشف أن عطارد يتم دورته حول محوره في ٥٩ يوماً، أي ما يعادل ثلثي دورته حول الشمس (٨٨ يوم) وبعبارة أخرى أن عطارد يدور حول نفسه ثلاث دورات، مقابل دورتين حول الشمس.

وفي نوفمبر ١٩٧٣ أرسلت سفينة فضاء أمريكية معلومات جديدة عن كوكب عطارد إذ أوضحت أن سطح عطارد يشبه سطح القمر الأرضي، حيث تكتنفه حفراً كونية، كما دلت المعلومات التي جمعت عن عطارد على أنه لا يتميز بشيء من الشروط الملائمة لقيام حياة على سطحه.

٢ ـ كوكب الزهرة Venus :

يبلغ قطره نحو ٩٧,٣ من قطر الأرض، كما يبلغ كثافة كتلته نحو ٠,٨ من كتلة الأرض، وتغلفه سحب من الغازات الكثيفة التي تحجب رؤيته بالمكشاف Telescope، كما تحجب قسماً كبيراً من أشعة الشمس، وتبعثر الذرات والجزئيات في هذا الجو الكثيف ضوء الشمس، كما يفعل الضباب على الأرض فيبدو الكوكب وكأنه مغلف بما يشبه العاصفة الترابية، كما تعمل هذه الغازات الكثيفة على أسر الإشعاع الشمسي الذي ينفذ خلال السحب. ويقوم سطح الزهرة بامتصاصه ثم يشعه كموجات حرارية طويلة مما ينشأ عنه ما يشبه قرن عظيم الحرارة ليس له مثيل على أي كوكب آخر من كواكب نظامنا الشمسي إذ تبلغ درجة الحرارة عند دائرته الاستوائية نحو ٥٧٠ درجة مئوية، والتي في مثلها يمكن أن ينصهر كثير من المعادن مثل القصدير والزنك والرصاص، كما يمكن أن يتبخر عدد من العناصر الكيماوية. وبالتالي لا تستطيع أي من الكائنات المعروفة على الأرض أن تعيش على هذا السطح الحار الذي لا يوجد عليه ماء بحالته السائلة كعامل رئيسي في نشوء الحياة. ويرى العلماء أنه يجب البحث عن سبب آخر لارتفاع حرارة الزهرة غير السحب الغازية الكثيفة التي تحيط به، ولكن يتوقع العلماء إمكان نشوء الحياة فوق سطح هذا الكوكب في وسط من الغاز ومركباته إذ يعتقد أن الغازات التي تغلف كوكب الزهرة يمكن أن تعمل على وجود تجمعات هائلة من كائنات حية صغيرة تسبح على أمثل ارتفاع لها بالنسبة لدرجة حرارة وضوء الشمس هناك.

وتدور الزهرة في مدارها حول الشمس في ٢٢٥ يوم أرضي، كما أنها تدور حول محورها مرة كل ٢٣٤ يوماً أرضياً في اتجاه عقارب الساعة بدلاً من العكس كما تفعل الكواكب المجاورة لها. وقد اكتشفت هذه الدورة العكسية في عام ١٩٦٢، وبسبب بطء هذه الدورة حول الشمس فأن الشمس تشرق على الزهرة من الغرب كل ١١٧ يوم أرضياً.

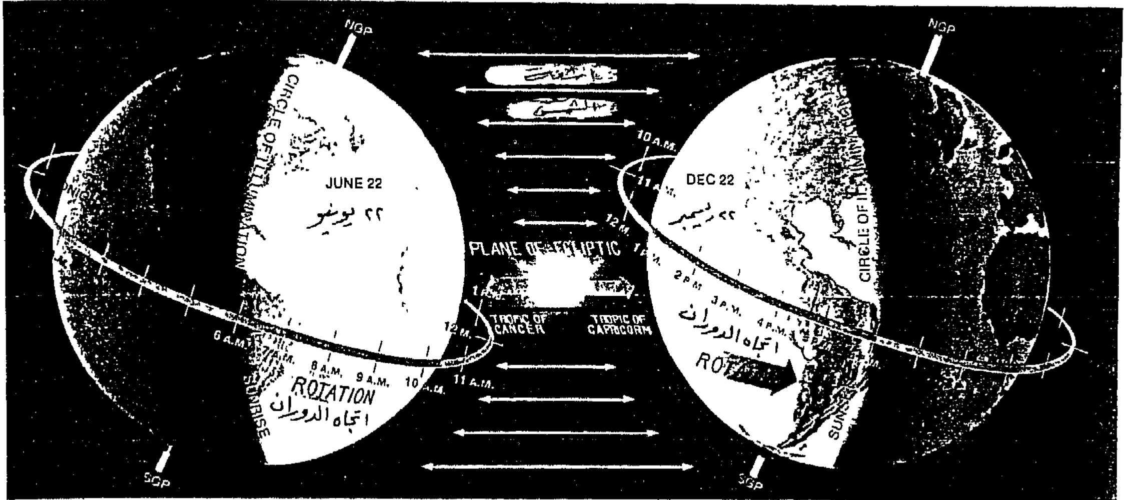
ولقد تمكن العلماء من إماطة اللثام عن كثير من أسرار هذا الكوكب

بأجهزة الرادار الحساسة، وبالمعلومات التي أرسلتها مراكب الفضاء الروسية فينيرا ٤ (Venera 4) في أكتوبر عام ١٩٦٧، وفينيرا ٥، ٦ (Venera 5 & 6) في مايو ١٩٦٩، وفينيرا ٩، ١٠ ومراكب الفضاء الأمريكية مارينر ٢ (Mariner 2) في ديسمبر ١٩٦٢ ومارينر ٥ (Mariner 5) في أكتوبر ١٩٦٧. وقد كشف مؤخراً علماء وكالة الفضاء الأمريكية النقاب عن خريطة كوكب الزهرة التي رسمتها أجهزة الرادار على ظهر مركبة الفضاء بيونير (Pioneer) التي تدور حول الزهرة منذ أوائل عام ١٩٧١. وأظهرت الخريطة أن سطح الزهرة مجعد وعليه سلسلة جبلية تشبه مرتفعات الجبال الالتوائية بقارة أمريكا الشمالية، كما يوجد به سهول منبسطة نسبياً تشغل نصف سطح الكوكب، وكشفت خريطة مركبة الفضاء عدة مرتفعات يزيد ارتفاعها عن قمة إيفرست بجبال الهيملايا.

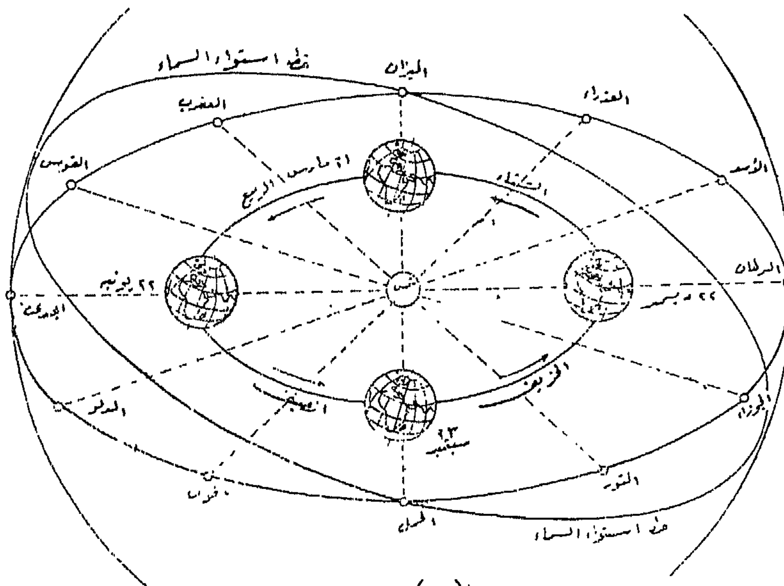
٣ ـ كوكب الأرض Earth:

يحتل هذا الكوكب مركزاً متوسطاً بين الكواكب بالنسبة لبعده عن الشمس بمقدار ١٤٨،٨٠٠،٠٠٠ كيلو متراً (٩٣،٠٠٠،٠٠٠ ميلًا)، أما من حيث الكثافة أو الثقل النوعي فإن الأرض تعتبر أعلى الكواكب كثافة إذ تبلغ حوالي ٥,٥ جرام/سم^{٣}. وللأرض تابع واحد هو «القمر» وهو الجرم التالي للشمس في سماء الأرض، والذي كان «جاليليو» أول إنسان على الأرض، تطلع إليه من خلال منظاره عام ١٦١٠ ووصف سطحه بأنه «ليس مستوياً ولا كروياً» بل على العكس من ذلك مليء بالشقوق والنتوءات مثل سطح الأرض المليء في كل مكان بالجبال المرتفعة والوديان العميقة. وتدور الأرض حول نفسها من الغرب إلى الشرق مرة كل ٢٣ ساعة ٥٦ دقيقة و ٤ ثوان، وينشأ عن هذه الدورة الليل والنهار (شكل رقم: ٤أ ـ ١). والأرض أثناء دورانها حول الشمس مرة كل سنة، بمدار إهليلجي (شكل رقم: ٤ ب ـ ١) فإنها تمر أمام ١٢ نجماً من النجوم تعرف بالأبراج، تبعاً لتغير مركز الأرض أثناء هذا الدوران على مستوى الخسوف والكسوف، ونظراً لميل محور الأرض عن الوضع العمودي لمستوى دورانها

بمقدار ٢٣,٥ درجة وثبات هذا الميل في اتجاه واحد، فقد نشأت الفصول الأربعة.



(أ)



(ب)

(شكل رقم: ٤ ـ ١) دورة الأرض (أ) حول محورها، (ب) حول الشمس

٤ ـ كوكب المريخ Mars:

يظهر المريخ في الفضاء باللون الأحمر، حتى أنه يعرف بكوكب الدم والحرب، وعلى الرغم من أن بعض العلماء يعتقدون أن هذا اللون يرجع إلى وجود معادن حديدية تتألف منها مكونات سطحه، إلا أن البعض الأخر يظن أن انعكاس أضواء الطيف المريخي ينتج عنه سلاسل ذرية ذات لون برتقالي أو بني محمر، وهذه النتيجة تماثل ما يحدث عندما يصطدم الإشعاع فوق البنفسجي Ultra Violet بغاز شبيه بغاز أكسيد الكربون Corbon Suboxide وهو غاز شائع الوجود يتميز بأنه كريه الرائحة.

ويبلغ قطر المريخ نصف قطر الأرض تقريباً، أي نحو ٦٧٢٠ كيلو متراً (٤٢٠٠ ميلاً)، وهو يدور حول الشمس ببطء ليكمل دورته في ٦٨٦ يوماً أرضياً. ولا يتعدى يومه الشمسي اليوم الأرضي بسوى ٤٠ دقيقة كما لا يزيد ميل محوره عن الشمس بمقدار درجتين فقط عن ميل محور الأرض بالنسبة للشمس، ولذا فأنه يعتقد أن التغيرات الفصلية متشابه في الكوكبين مع بعض الاختلافات تبعاً للبعد عن الشمس، وتصل درجة الحرارة عند دائرته الاستوائية إلى ٢٦ درجة مئوية، لكنها تنخفض ليلاً حتى تصل إلى نحو ـ ١٠٠ درجة مئوية.

ولقد تطلعت أنظار سكان الأرض إليه في مستهل عصر غزو الفضاء للاعتقاد بنشوء الحياة على سطحه. فقد قامت مركبات الفضاء الأمريكية مارينر ٤ (١٩٦٤/ ١٩٦٥) ومارينر ٦، ٧ (١٩٦٩)، ومارينر ٩ (١٩٧١) بالتقاط صوراً عديدة للمريخ وتبين منها أن هذا الكوكب يختلف كثيراً عن كوكب الأرض بل وبقية الكواكب مما أطاح بكل المعتقدات الأرضية عن المريخ. فقد تبين أن جو المريخ يتألف أساساً من ثاني أكسيد الكربون، وأن كثافته وضغطه يعادلان نحو ١٪ من كثافة وضغط جو الأرض. ونظراً لما يتميز به المريخ من أن له غلافاً رقيقاً بما لا يسمح أن يحمي سطحه من أشعة الشمس وخصوصاً الأشعة فوق البنفسجية التي من خصائص أن تقتل على الفور أية كائنات حية ما لم يتوفر لها الحماية من هذه الأشعة. ولذا فأن العلماء يفترضون بأنه إذا وجدت حياة من أي

نوع على سطح المريخ إنما يلزم لها توفر الوقاية من الأشعة فوق البنفسجية، كما لا بد لها أن تتلائم مع المتغيرات السريعة في درجة الحرارة، بالإضافة إلى عدم وجود دلائل تشير إلى وجود مياه جارية على سطحه. وقد أوضحت الصور التي التقطتها مركبات الفضاء مارينر أن سطح المريخ يتميز بأن منحدراته بسيطة، كما لا توجد عليه مظاهر لسلاسل جبلية مرتفعة أو انكسارات ضخمة أو نشاط بركاني، ولكن اتضح أن سطح المريخ تكتنفه بعض الحافات القصيرة والحفر المستطيلة (تشبه الوديان المجدبة) في مساحة فسيحة.

وللمريخ قمران صغيران يحملان اسمي آله الحرب: فوبوس Phobos (الرعب) ودايموس Deimos (الهول أو الفزع).

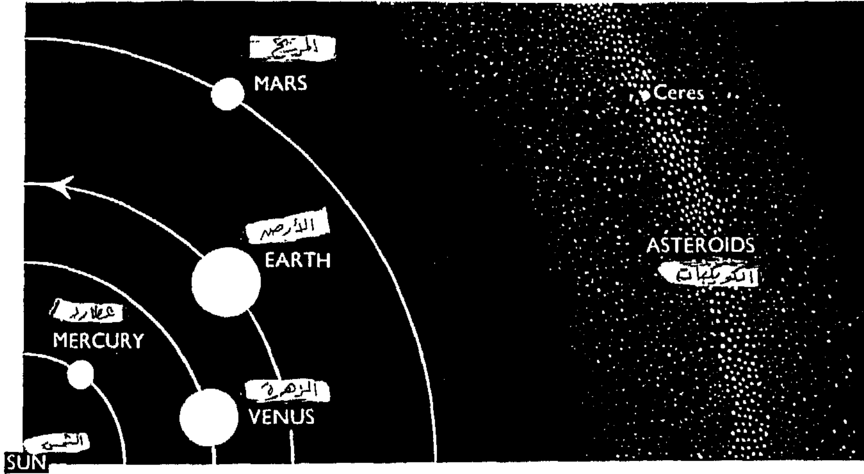
٥ ـ الكويكبات Asteroids:

ينتشر في الفراغ الشاسع بين المريخ والمشتري، أي في نطاق عريض يبلغ اتساعه نحو ٢٤ مليون كليومتر، تجمع كبير من الكواكب الصغيرة التي تتراوح أقطارها ما بين الكيلو متر الواحد وعدة مئات الكيلو مترات، ولا يزيد وزن هذه المجموعة كلها عن ٠,٠٠٢ من وزن الأرض وتدور حول الشمس في فترات يتراوح طولها بين ٣ ـ ٦ سنوات. ويعرف هذا التجمع كأحد أفراد النظام الشمسي باسم الكويكبات Asteroids. ويقدر عدد الكويكبات بحوالي ٥٠ ألف كويكب، إلا أن العدد المعروف منها والذي يمكن مشاهدته بواسطة أجهزة المكشاف يبلغ حوالي ١٥٠٠ إلى ٢٠٠٠ كويكب، وأكبرها الكويكب المعروف باسم سيريس Ceres ويبلغ قطره ٧٨٦ كيلو متراً وقد اكتشفه الفلكي الإيطالي «بيازي G. Piezzi» في أول يناير عام ١٨٠١ . أما الكويكب باللاس Pallas فيبلغ طول قطره ٤٩٠ كيلو متراً وكويكب فيستاVista يبلغ طول قطره ٣٨٤ كيلو متراً.

وتتصف مدارات هذه الكويكبات بعدم انتظامها، فهي إما بيضاوية (اهليلجية) أقرب ما تكون إلى الدائرة وقد تخرج مدارات بعض هذه الكويكبات خارج مداري المريخ والمشتري وتقترب من زحل أو من الأرض، فمثلاً

الكويكب هيد الجو Hidalgo يقترب من زحل، والكويكب أوروس Eros يقترب من الأرض إلى حوالي ٢٢ مليون كيلومتر، والكويكب آمور Amor يقترب إلى مسافة ١٦ مليون كيلومتر، والكويكب آدوني Adoni اقترب من الأرض إلى حوالي ١,٥ مليون كيلو متر. وبما أن مدارات هذه الكويكبات غير منتظمة فإنها تتصادم بعضها مع البعض باستمرار وتتحطم إلى أجزاء أصغر فأصغر.

ويعتقد أن مجموعة الكويكبات ما هي إلا مجموعة من الأجرام التي تشكل حطام كوكب سيار كان يدور في المسافة بين كوكبي المريخ والمشتري انفجر وتناثرت أجزاءه، أو أنها أحجار بناء النظام الشمسي كما يعتقد العالم جبريلس Gebrels، أو أنها كانت جزءاً من السحابة الترابية الهائلة التي تكاثفت منها الشمس والكواكب منذ ٥ مليار سنة، أي أنها غباراً اندمج ببعضه. أما سبب وجود هذه الكويكبات بين مداري المريخ والمشترى يرجع إلى أنه من بداية تكوين المجموعة الشمسية تكونت مجموعة من الكواكب، أو كوكبين على الأقل بدلاً من كوكب واحد، وذلك بسبب قوة الجاذبية العظيمة لكوكب المشتري، التي لم تعط الفرصة لتكوين كوكب واحد كبير بل تكونت عدة كواكب ذات مدارات غير منتظمة فتصادمت بعضها بالبعض وتحطمت نتيجة لذلك إلى مجموعة كبيرة من الكويكبات المعروفة حالياً. (شكل رقم: ٥ ـ ١).



(شكل رقم: ٥ ـ ١): مجموعة الكويكبات كما تظهر في الفضاء

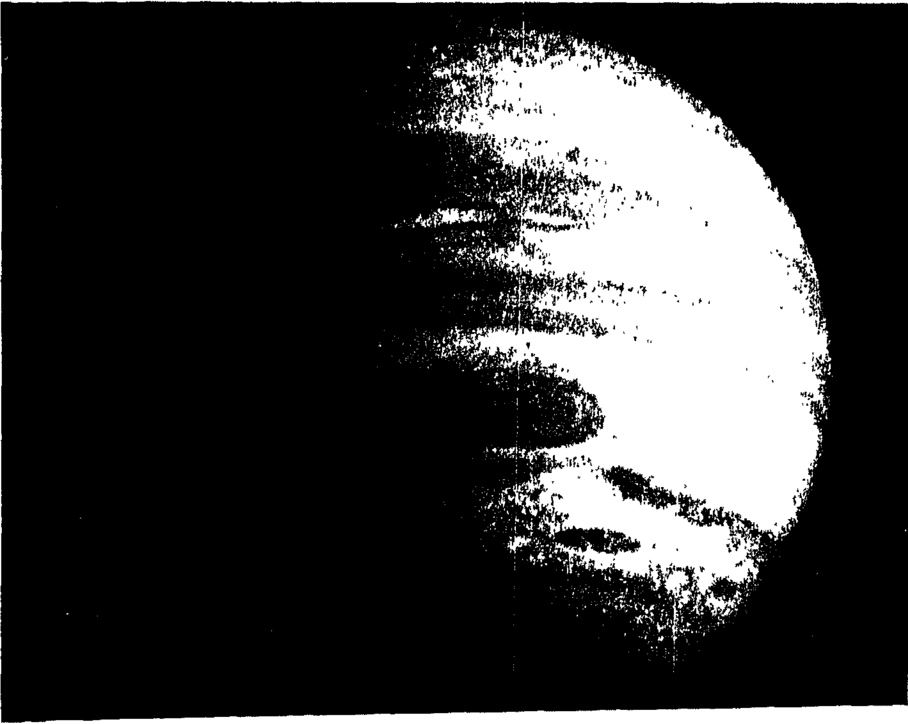
ب ـ مجموعة الكواكب الكبيرة:

وتشمل مجموعة الكواكب الكبيرة، وهي المشتري وزحل وأورانوس ونبتون. وهي كواكب باردة تتميز بحالتها الغازية مثل الشمس. ونظراً لبعد هذه الكواكب عن الشمس فأن كل ما عليها أصبح جامداً أو صلباً بما في ذلك غاز ثاني أكسيد الكربون والأزوت والأكسجين وبناءً على ذلك يعتقد أنه لا يمكن أن تتوفر على سطح هذه الكواكب سبل الحياة.

١ ـ كوكب المشتري Jupiter:

هو أكبر أفراد المجموعة الشمسية على الإطلاق، إذ يبلغ قطره ١١ مرة مثل قطر اورض (محيطه ٤٠٠،٠٠٠ كم) وحجمه قدر حجم الأرض ١٣٠٠ مرة، وقدر حجم الكواكب مجتمعة مرة ونصف مرة، كما يبلغ ثقله النوعي نحو ١,٣٣ من الثقل النوعي للماء. إلا أنه كوكب سريع الدوران حول نفسه إذ يقل اليوم الكامل عليه عن ١٠ ساعات. ونظراً لدورانه السريع فقط استطال قطره عن خط استوائه. ويعتقد أن الغلاف الجوي الذي يحيط المشتري يتميز بأنه غلاف سميك يتألف أساساً من الهيدروجين والهليوم. كما يوجد غاز النوشادر (الأمونيا) والميثان ولكن بنسب أصغر في جوه وهما مركبان بسيطان، ينشأ الأول من إتحاد الهيدروجين مع الكربون بينما يتكون الثاني من اتحاد النتروجين مع الكربون، ويتميز جو المشتري بمجموعات عظيمة من السحب التي يعتقد أنها تتكون من مركبات النوشادر السائلة والمتجمدة التي تدور بسرعة عظيمة تفوق سرعة الدوامات الهوائية في جو الأرض. (شكل رقم: ٦ ـ ١).

ويعتقد العلماء أن كوكب المشتري هو أصلح بيئة من الأرض ومن أي كوكب آخر لبدايات الحياة، فالحياة التي بدأت على سطح اورض منذ ٤,٥ مليار سنة تقريباً قد ظهرت في أغلب الظن في جو تسوده غازات الايدروجين والنوشادر والميثان مثل ما يسود الجود الحالي لكوكب المشتري.



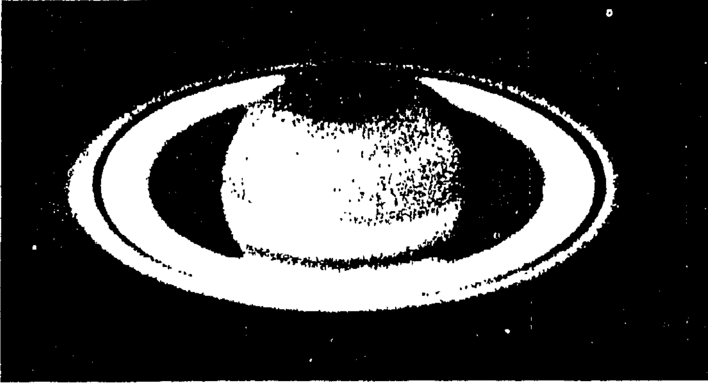
(شكل رقم: ٦ ـ ١):
كوكب المشتري كما التقطته مركبة الفضاء بيونير ٢ من مسافة ١,١٠٠,٠٠٠ كيلومتر

ويتبع المشتري ١٢ قمراً، اكتشف جاليليو منها ثلاثة هي: جانيميد Ganymede، وحجمه أكبر من حجم كوكب عطارد، وكاليستو Callisto وهو أكبر من قمر الأرض، وأوروبه Europa، وحجمه خمس حجم الأرض.

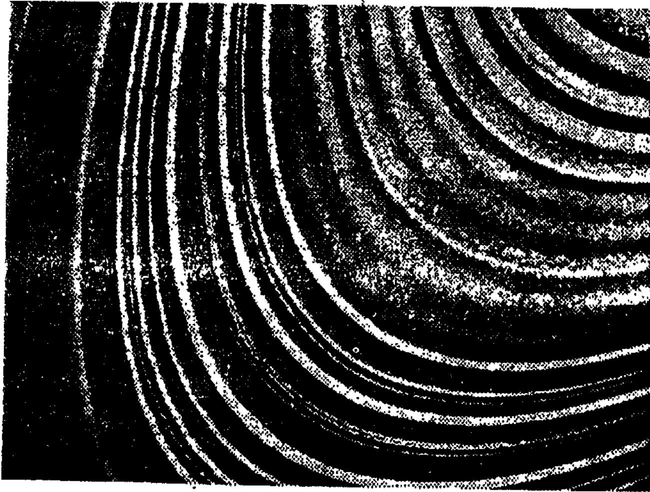
٢ ـ كوكب زحل Saturn:

يشابه كوكب زحل كوكب المشتري إلى حد كبير، ويبلغ قطره ٧٥،٣٦٠ كيلو متر (٤٧،١٠٠ ميلاً)، ويحيط به غلاف جوي كثيف يتركب من عناصر أخف بكثير من عناصر جو الأرض مثل غازات الإيدروجين والميثين والهليوم وهو يمتص بجزء من الإشعاع الشمسي. ويتميز زحل بتلك الهالة التي تحيط به وتدور حوله (شكل رقم: ٧ ـ ١) وهي على شكل أربع حلقات عظيمة غير بعيدة وربما تكون تلك الحلقات من حطام المادة أو فتاتها إذ تسبح في مجال أعداد هائلة من الجسيمات الصغيرة المتناثرة ويبلغ الاتساع الكلي للحلقات الأربع ٦٠،٠٠٠ كيلو متراً والحلقتان الخارجيتان شديدتان اللمعان، بينما الحلقة الثالثة

الداخلية ضعيفة اللمعان والحلقة الرابعة هي أقرب الجميع إلى كوكب زحل بل تكاد تصله وهي باهته جداً. ويعتقد العلماء بأن مكونات هذه الحلقات ما هي إلا توابع صغيرة تشبه أسراب النيازك التي يمكن أن تصطدم ببعضها أثناء سيرها محدثة لجو ملتهب يحيط بها بسمك يبلغ نحو ٨٥٠ كيلو متراً، كما أنه يعتقد أن مواد الحلقات التي تحيط بزحل ما هي إلا مواد كونية لم تسنح لها فرصة التلاحم لتكوين كوكب تابع له، أو يحتمل أنها كانت كوكباً اقترب من زحل وتحطم في مجال جاذبيته. ويتبع كوكب زحل ١٧ قمراً من بينها قمر واحد نعرف باسم تيتان Titan (قطره ٤٨٠٠ كيلو متر) يحيط به غلاف جوي على عكس ما هو معروف عن أقمار المجموعة الشمسية، ولقد أماطت اللثام عن هذا الكوكب الغامض رحلات سفن الفضاء الأمريكية فيوجر ١، ٢ خلال العامين (١٩٨٠ ـ ١٩٨١). فقد أوضحت الصور التي التقطت عدداً من الكشوف الفريدة كان أشهرها اكتشاف أن لكوكب زحل ١٧ تابعاً (قمراً) وليس ٩ توابع كما كان يظن من قبل كما اكتشف أن عدد الحلقات الشهيرة التي تحيط به يزيد على ٦٢ حلقة وليس ٤ كما كان يعتقد قبلاً (شكل رقم: ٨ ـ ١) واكتشف أيضاً أن عدداً من تلك الأقمار والحلقات تدور حول زحل في اتجاه معاكس للاتجاه السائد لحركة الدوران الفلكية في الكون كله. كما أن عدداً من هذه الحلقات يتداخل بعضه في البعض كالضفائر دون سبب واضح، وفي ٢٥ أغسطس ١٩٨١، اقتربت مركبة الفضاء فيوجر ٢ من زحل إلى مسافة نحو ١٥١،٥٠٠ كيلو متراً (٦٣،٠٠٠ ميلاً) من سطحه، وأرسلت سيلاً من المرئيات (أكثر من مليوني مرئية) لشكل الكوكب والتي تبين منها أن الحلقات التي تحيط بزحل ما هي إلا عبارة عن عنقود من جبال الثلج المجدول باتقان وتلتف حوله في بهاء غريب (شكل رقم: ٨ ـ١). وإن أحد أقماره أملس السطح تماماً دون فجوات أو فوهات كأنه من صنع أيد مدربة توجهها عقول خبيرة، وليس من صنع ظواهر وعوامل طبيعية صرفة ـ كما أرسلت المركبة معلومات عن درجة الحرارة في مناطق سطحه وغلافه الجوي، وبعض التحليلات الطيفية لتضاريسه وتكويناته الجيولوجية.



(شكل رقم: ٧ ـ١) كوكب زحل ـ لاحظ الحلقات التي تحيط بجسم الكوكب



(شكل رقم: ٨ـ١) جبال الثلج المجدول اللامع تلتف حول كوكب زحل (صورة بعثت بها سفينة الفضاء الأمريكية فويجر ٢ في ١٩٨١/٨/٢٦ ـ يقدر عدد الأحبال بما يزيد على ٦٢ يحيط كلها بزحل).

٣ ـ كوكب أورانوس Uranus :

ويبلغ حجمه ٦٤ مرة قدر حجم الأرض، ويدور بسرعة حول نفسه تبلغ نصف سرعة دوران الأرض تقريباً، فهو يتم هذه الدورة في أقل من ١١ ساعة. ويتم أورانوس دورته حول الشمس مرة كل ٨٢ سنة أرضية.

ويختلف الكوكب عن بقية الكواكب الأخرى في أن محور دورانه حول نفسه يميل عن الوضع العمودي بمقدار ٨٢ درجة (تقترب محاور الكواكب من الوضع العمودي) وكان من نتيجة اقتراب محور ومستوى فلكه أو دورانه حول الشمس (بمقدار ٨ درجات فقط) أن يصبح أحد قطبيه منيراً أو مواجهاً للشمس أثناء نصف دورته حول الشمس (خلال ٤٢ سنة أرضية) بينما يبقى القطب الأخر في ظلام دامس خلال نفس المدة. ويتبع أورانوس خمسة أقمار تدور في اتجاه من الشرق إلى الغرب أي في اتجاه معاكس لدوران الكوكب حول الشمس. وقد اكتشف العلماء عن طريق المعلومات التي ترسلها مركبة الفضاء فيجر ٢ المنتظر هبوطها على كوكب أورانوس عام ١٩٨٦، أن حجم هذه الأقمار أكبر مما كان متوقعاً، كما أنها أكثر إظلاماً من الأقمار الثلجية التي تدور في ذلك كوكب زحل، والتي اكتشفتها «فوجير ٢» عام ١٩٨١. وأوضحت الدراسات بأحد المكشافات أن «أوبرون» هو أكبر أقمار أورانوس حيث يبلغ قطره حوالي ١٦٨٠ كيلو متراً (١٠٥٠ ميلاً) وهو ما يوازي ضعفي الحجم الذي قدر له عن طريق المراقبة البصرية والتي لم تتوفر لها الدقة نتيجة بعد المسافة بين الأرض وأورانوس (٢،٣ مليار كليو متراً). أما مقاييس الأقمار الأربعة الأخرى فهي كالتالي: تيتانيا وقطره ١٥٨٤ كيلو متراً (٩٩٠ ميلاً) وأريل ١٢٥٦ كيلو متر (٧٨٥ ميلاً) وأمبرايل ١١٥٢ كيلو متراً (٧٢٠ ميلاً)، وميراندا وهو صغير جداً وملاصق لأورانوس. ولم يصل حجم أحد هذه الأقمار إلى حجم قمر الأرض.

٤ ـ كوكب نبتون Neptun :

من الكواكب البعيدة عن الشمس ومن ثم فإنه لا يتلقى من الإشعاع سوى

٠،٠٩ مما تستقبله الأرض منه وعلى هذا فأن درجة الحرارة على سطحه منخفضة جداً تبلغ نحو ٢٣٠ درجة مئوية. ويبلغ حجمه ١٧ مثلاً لحجم الأرض، وثقله النوعي يبلغ نحو ربع الثقل النوعي للأرض. ويحيط به غلاف جوي يتألف من الميثان والنوشادر والهليوم، وله ثلاثة توابع (أقمار)، وقد اكتشف القمر الثالث لنبتون بواسطة سفينة الفضاء الأمريكية «فويجر ٢» عام ١٩٩١ حيث أرسلت صوراً توضح وجود قمر ثالث بجانب القمرين المعروفين اللذين تم رصدهما عامي ١٨٤٦ و ١٩٤٩. والقمر الثالث لا يمكن رؤيته من الأرض لأن بريق كوكب نبتون يطغى عليه.

٥ ـ كوكب بلوتو Pluto:

اكتشفه الفلكي الأمريكي تومبر C.W. Tombaugh في أوائل عام ١٩٣٠. وبلوتو كوكب بارد فهو أبعد الكواكب عن الشمس إذ يقع عند الحدود التي يلتقي عندها فضاء مجموعتنا بفضاء الكون الكبير البعيد وهو أقرب في حجمه إلى مجموعة الكواكب الصغيرة، فالمعتقد أن حجمه لا يزيد عن حجم المريخ. ويدور الكوكب حول نفسه في فترة تبلغ نحو ٦،٣ يوماً أرضياً كما يدور حول الشمس في ٢٤٩ سنة أرضية تقريباً.

التوابع والأقمار Satellites:

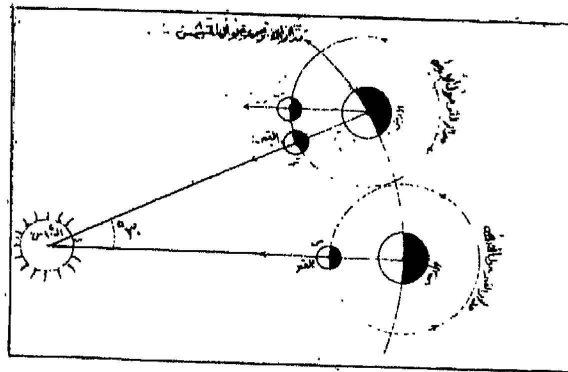
يتبع كواكب المجموعة الشمسية ٤٠ تابعاً أو قمراً (جدول رقم ١) تدور جميعها حول كواكبها بعكس اتجاه عقرب الساعة ما عدا تابعين من توابع كل من زحل والمشتري.

وسنهتم هنا بدراسة القمر The Moon فقط، كتابع من توابع الكواكب، وذلك لأنه التابع الوحيد الذي يدور حول الأرض وهو أقرب جار لنا وله تأثير كبير على حدوث ظاهرة المد والجزر على سطح الأرض وظاهرتي كسوف الشمس وخسوف القمر.

فالقمر جسم معتم مضيء بسبب انعكاس أشعة الشمس عليه ويبلغ طول

قطره ٣٤٧٦ كم وهذا يساوي ١/ ٤ قطر الأرض تقريباً، ومساحة سطحه ٣٦ مليون كيلو متر مربع، وهي ليست كبيرة إذ أن مساحة الأمريكتين مثلاً ٣٩,٦ مليون كيلو متر مربع، أما حجمه فحوالي ١/ ٤٩ من حجم الأرض بسبب صغر كتلته ووزنه ٧ × ١٠^{٢٥} جرام وهذا يساوي $\frac{١}{٨١٫٣٠}$ من وزن الأرض ومن هذا نستنج أن معدل كثافة مادة القمر تساوي ٣٫٣٤ جرام/ سم^{٣} أي مثل كثافة الصخور البازلتيه في القشرة الأرضية، أما قوة الجاذبية للقمر فتساوي ١,٦٣ متر/ الثانية في الثانية أي أقل من جاذبية الأرض بست مرات.

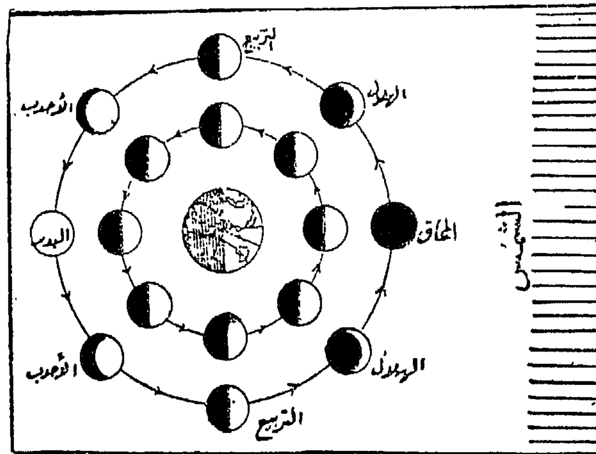
ويدور القمر حول الأرض في مدار اهليلجي، تقع الأرض في إحدى بؤرتيه خلال الشهر النجمي Sidereal Month وهو فترة يبلغ طولها ٢٧ يوماً و٧ ساعة و٤٣ دقيقة و١١،٤٧ ثانية. وخلال هذه المدة تكون الأرض قد دارت حول الشمس في مدارها ٣٠ درجة تقريباً ولا بد للقمر أن يدور هذه المسافة أيضاً أي ٣٠ زيادة، وذلك يستغرق منه أكثر من يومين أي أن طول الشهر القمري ٢٩ يوماً و١٩ ساعة و٥٤ دقيقة و٢،٨ ثانية حتى يصل إلى الوضع الذي يكون فيه هو والأرض والشمس على خط واحدة وخلال هذه الفترة يمر القمر بجميع مراحله من البدر إلى الهلال فالمحاق إلى البدر ثانية. (انظر شكل رقم: ٩ ـ ١).



(شكل رقم: ٩ ـ ١) دوران القمر

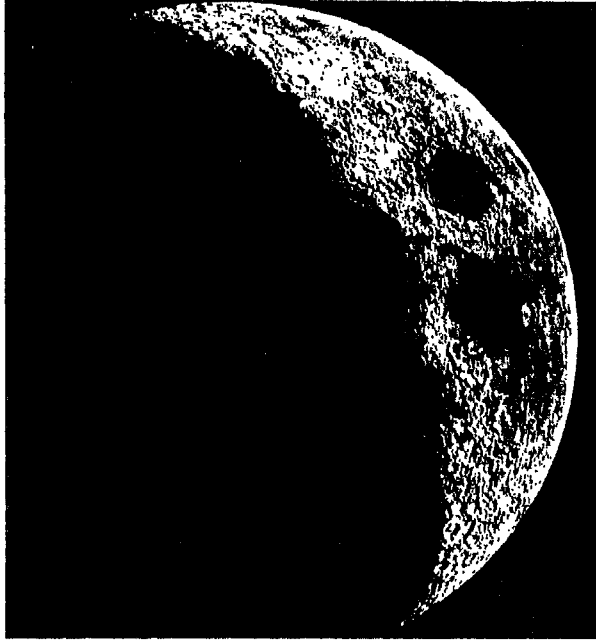
ويدور القمر حول محوره في نفس الفترة التي يدور فيها حول الأرض، ونتيجة لذلك يواجه القمر الأرض دائماً بوجه واحد وهو الوجه المضيء بالنسبة لنا[1] وتبلغ سرعة دورانه حول الأرض حوالي ١٠٢٣ متر/ الثانية، وكما ذكرنا سابقاً أن مدار القمر حول الأرض اهليلجي وأن الأرض تقع في إحدى بؤرتيه وهذا يعني أن المسافة بينهما تتراوح بين ٣٥٦ ألف كيلومتر إلى ٤٠٧ الف كيلومتر أي بمتوسط مسافة تبلغ ٣٨٤،٤٠٠ الف كيلومتر.

وللقمر أوجه مختلفة وذلك بسبب الاختلاف في سرعة الدوران لكل من الأرض والقمر حول الشمس، وتختلف هذه الأوجه باختلاف مساحة الجزء المضيء من القمر الذي يمكن مشاهدته من الأرض، ففي أول الشهر القمري يظهر القمر على شكل هلال ثم يتسع تدريجياً حتى يظهر في نهاية الأسبوع الأول من الشهر القمري على شكل نصف دائرة (التربيع الأول) ثم يصبح القمر تام الاستدارة في منتصف الشهر القمري (بدر) ثم يعود مرة أخرى فيصغر تدريجياً حتى يصبح على شكل نصف دائرة ثانية في الأسبوع الثالث من الشهر القمري (التربيع الأخير) ثم يختفي تماماً في آخر الشهر القمري (المحاق) فلا نرى من وجهه المنير شيئاً. (انظر شكل رقم: ١٠ ـ ١، ١١ ـ ١).

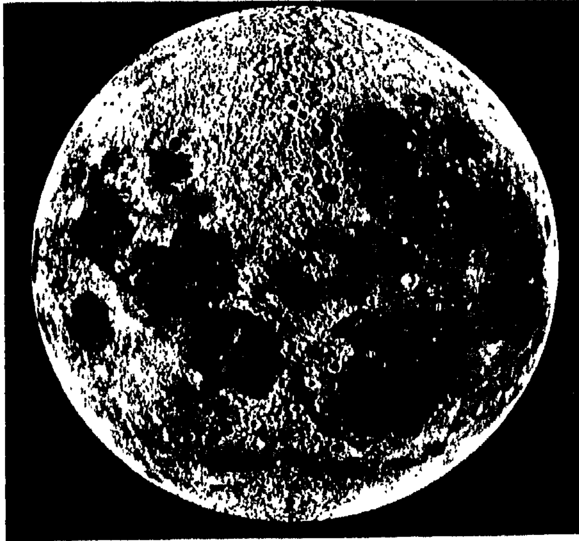


(شكل رقم: ١٠ ـ ١) أوجه القمر

(١) أن أهل الأرض يشاهدون من القمر أكثر من النصف أي مساحة تتراوح بين ٤١٪ و٥٩٪.



(وجه القمر المواجه لنا ـ بعد أربعة أيام من مولده)



(سطح القمر ـ وتُرى عليه آلاف الفوهات)

(شكل رقم: ١١ ـ ١): بعض خصائص القمر

وقد اختلف العلماء منذ القديم على أصل تكوين ونشأة القمر. ومن بين النظريات التي وضعت عن أصل القمر تتلخص في أن الأرض كانت في بدء تكوينها كرة منصهرة وقد حدثت حركات ضخمة في أقسامها الخارجية وانفصلت موجة عظيمة منها وابتعدت عنها ثم تكورت وكونت القمر، وقد نادى بهذه النظرية الفلكي البريطاني جورج دارون عام ١٨٨١ حيث أثبت أن القمر يبتعد عن الأرض رويداً رويداً بمقدار ١٠ سنتمترات في كل سنة أي أن القمر كان متصلاً بالأرض فعلاً قبل حوالي أربعة بلايين من السنين، وأنه انتزع من حوض المحيط الهادي بسبب القوى الشمس المدية Tidal Forces of the Sun. وقد برهن دارون على نظريته بأنه لما كانت جاذبية القمر في مركز الأرض، فإن القمر لا يمكن أن يكون بعيداً هكذا عنها، بل أكثر قرباً في مراحل نشأة الأرض وبعد انسلاخه عنها. وقد عزز هذا الافتراض الحسابات الفلكية التي تؤكد بأن القمر كان ولا يزال يبتعد عن الأرض حتى الأن. كما تفترض نظرية إنسلاخ القمر عن الأرض بأن الانفصال كان نتيجة لدوران الأرض حول محورها وهي لا تزال في حالة توهج مما أدى إلى حدوث نتوء استمر يتزايد حتى وصل إلى نقطة حرجة انفصل بعدها القمر عن جسم الأرض.

وقد ظل الاعتقاد بنظرية جورج دارون لأكثر من نصف قرن، حتى ثارت في وجهها عدت اعتراضات من بينها أن معظم النيازك التي تصل إلى الأرض تتكون من ٩٠٪ من الحديد والنيكل. وهي أثقل من قشرة الأرض، وكذلك أثقل من القمر. وأن كثافة القمر (٣,٣) أكثر من كثافة الجزء الذي انتزع من قشرة الأرض (٢,٧). إلا أن أنصار نظرية انفصال القمر عن الأرض يبررون ذلك بأن القمر قد انتزع جزءاً من غشاء ما تحت القشرة الثقيل، نتيجة لدورانه حول نفسه في مراحل نشأته اختلطت العناصر المكونة فأصبح له كثافة متوسطة. وكذلك نفس الشيء بالنسبة للنيازك والشهب التي اندمجت فيه. وقد عادت النظرية مرة أخرى إلى الدراسة بعد أن تمكن الفلكيون الروس من مشاهدة خروج غازات من فوهة الفونسو القمرية. وبذلك زاد الاحتمال بتشابه كل من القمر والأرض. وأنه

مثلها، لا يزال باطنه في حالة نشاط ناري جوفي، ولكن جاذبيته الثقيلة سمحت للغازات أن تتطاير في الفضاء الخارجي.

ومن النظريات التي تعرضت لنشأة القمر تلك النظرية التي تقول أن القمر قد نشأ نشأة مستقلة عن تجمع الغبار الكوني. وقد أدي تجمع المادة التي كونته إلى تولد حرارة كافية لأن تبخر المواد الغازية والخفيفة منه. ثم هبطت عليه أجسام كونية مثل الشهب والنيازك من بقايا سحب الغبار، من بينها نيزك من الحديد والنيكل يقدر بما لا يقل عن ٩٦ كيلومتراً في قطره، وهو الذي كون بحر ماريا، وكان اندفاع هذا النيزك شديد بحيث وصل إلى ٨٠ كيلومتراً في عمق القمر. كما يفترض أن هذه النيازك من الحديد والنيكل قد نتجت عن أجسام صلبة، شديدة السخونة بحيث تؤدي إلى تبخر السليكات منها، ثم بردة سبيكة الحديد والنيكل المتبقية، فأصبحت صلبة إلى الحد الذي يمكنها من أن تغطس في عمق القمر.

ويتميز سطح القمر بوجود كتل وسلاسل جبلية ضخمة وفوهات مدورة ومناطق سهلية واسعة تطلق عليها خطأ اسم البحار والمحيطات كبحر الشتاء Mare Imbrium وبحر الصفاء Mare Serenitatis وبحر الغيوم Mare Nobium وتبلغ مساحة أكبر هذه البحار وهو بحر الصفاء ١٧٠ الف كيلومتراً مربعاً أي أقل من مساحة بحر قزوين بمرتين ونصف. أما الكتل والسلاسل الجبلية فيطلق عليها اسماء الجبال الموجودة على الأرض كجبال الألب والابنين والهملايا، أما الفوهات المدورة فسميت بأسماء الفلاسفة والعلماء والفلكيين كفوهة جاليليو وأفلاطون وجول فيرن وباستور ومدام كوري وشميدت. وأصل هذه الفوهات المدورة على سطح القمر كان ولا يزال مثار جدل بين العلماء. أذ يعتقد البعض بأنها فوهات لبراكين تكونت نتيجة للنشاط البركاني خلال الأزمنة الجيولوجية المختلفة، إلا أن الدراسات الحديثة أظهرت عدم صحة هذه النظرية وذلك لأن الفوهات واسعة جداً إذ يبلغ قطر بعضها مئات من الكيلومترات بالإضافة إلى أنها غير عميقة ولا توجد هناك مخاريط للبراكين، بل نجد أن المرتفعات تحيط

بها من جميع الجهات، لكن هذا لا يعني عدم وجود البراكين على سطح القمر، فمنذ زمن غير بعيد تمكن الفلكي السوفيتي كوزيريف من رصد فوهة بركان الفونس على سطح القمر، وكان يرافق ثورة البركان خروج الأبخرة والغازات المختلفة والغريبة.

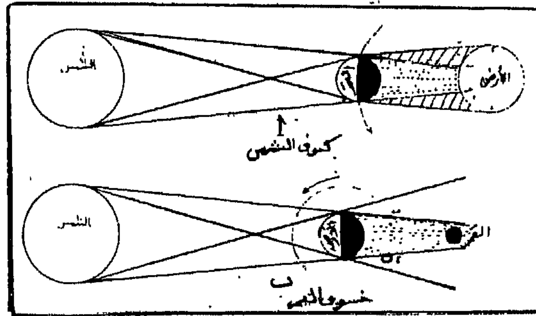
وهناك نظرية أخرى تعتقد بأن فقاعات هائلة تشكلت على سطح القمر عندما كان في حالة الانصهار وتركت وراءها (عندما تصلب سطحه) هذه الفوهات وحولها الجبان الحلقية، ولم تنل هذه النظرية تأييد العلماء الفلكيين والجيولوجيين. على أن الاعتقاد السائد الأن هو أن هذه الفوهات المدوة تكونت نتيجة لسقوط النيازك على سطح القمر خلال الأزمنة الجيولوجية المختلفة، وأن عدم وجود غلاف جوي للقمر جعل اصطدام النيازك بسطح القمر شديداً وعنيفاً. ومن جهة أخرى تشبه هذه الفوهات من حيث الشكل الفوهات التي أحدثتها النيازك على سطح اورض كفوهة أريزونا في الولايات المتحدة. كما يعتقد أن السبب في كثرة هذه الحفر على سطح القمر، وعدم وجودها على سطح الأرض بنفس الكثرة، هو عدم وجود غلاف جوي للقمر الأمر الذي جعل التضاريس السطحية للقمر تبقى محافظة على أشكالها الأصلية بينما عوامل التعرية الخارجية نحتت معظم هذه الفوهات على سطح الأرض. وتعد فوهات القمر بذلك أسرار غامضة لأكثر من سبب، فالقليل منها يبدو مثل الفوهات الأرضية ذات الأصل البركاني، ومن ناحية أخرى فلو أنها كانت ناتجة عن صدمات نيازك أو شهب كبيرة لتوقعنا أن يكون معظمها اهليلجي الشكل، ذلك أن النيزك أو الشهاب المتوسط الحجم يسقط بطبيعة الحال على السطح عبر مسار مائل. ومع ذلك فمعظم الفوهات دائرية الشكل والتي يعتقد أنها من أصل بركاني أو أنها تكونت بفعل سقوط النيازك أو الشهب الهائلة الحجم على سطح القمر.

وقد قام العالم جوهانس هيفيليوس عام ١٦٤٧ م برسم أول خريطة لجانب واحد من القمر المواجه للأرض، أما الجانب الثاني للقمر فصوره العلماء

الروس لأول مرة بواسطة السفينة الفضائية لونا ٣ في ٢٠ أبريل ١٩٦٠.

ويرجع سبب عدم وجود غلاف هوائي حول القمر إلى قلة جاذبيته وذلك لأن سرعة حركة ذرات الهواء أقوى من قوة الجاذبية القمرية حيث أن سرعة إفلات هذه الذرات تصل إلى أكثر من ١٠ كيلومترات في الثانية الواحدة، لذلك لا يوجد أي نوع من الحياة على سطح القمر. ولا يوجد الماء على سطح القمر ولذلك فإن المد والجزر مقتصر على القشرة الصلبة لسطحه وأن جاذبية الأرض تسبب مداً على سطحه وبصورة دائمة ونتيجة لذلك يعتقد العلماء وجود تشويه بسيط في شكل القمر.

وبتسبب القمر في حدوث ظواهر طبيعية أخرى هي كسوف الشمس Solar Eclipse وخسوف القمر Lunar Eclipse. فالظاهرة الأولى ترجع إلى وقوع القمر بين الأرض والشمس أثناء دورانه فيحجب القمر ضوء الشمس كلياً، أما إذا كان الاحتجاب قاصراً على جزء معين من الشمس فيسمى الكسوف حينذاك بالكسوف الجزئي كما في (شكل رقم ١٢ أ ـ ١)، أما خسوف القمر فيحدث عندما تكون الأرض بين القمر والشمس أثناء دورانها فتحجب الأرض ضوء الشمس عن القمر كما في (شكل رقم: ١٢ ب ـ ١).



(شكل رقم: ١٢ ـ ١) كسوف الشمس وخسوف القمر

ويبقى التساؤل عما إذا كانت هناك حياة بأي شكل ممكنة على سطح القمر، ولكن من المعروف أن أصل نوع الحياة الذي نعرفه لا ينفصل عن وجود الماء. والإجابة على هذا التساؤل إذن تعتمد على ما إذا كان هناك على سطح القمر ماء أم لا؟. وقد ثبت للعلماء أن الماء غير موجود على سطح القمر، وذلك لأنه قدر أن أي كوكب جديد يتكون، يوجد معه ٢ أو ٣ كيلومترات مكعبة من الماء لكل كيلومتر مربع من السطح، أما ما يحدث لهذا الماء بعد ذلك أثناء تطور الكوكب، فهذا شيء آخر. ولقد ساعدت الظروف على سطح القمر على تبدد معظم مياهه إلى حد كبير.

وبتوصل العلماء إلى معرفة عمر التراكيب القمرية المختلفة بعد أن يقوموا بتحليل «التحلل الإشعاعي» على القمر، يمكن أن يعطينا معلومات جديدة، تتصل بتطور النظام الشمسي كله، والأرض وتطورها على وجه الخصوص.

المذنبات والنيازك والشهب

بالإضافة إلى وحدات النظام الشمسي من الشمس والكواكب العشرة والأقمار التابعة لها، يحتوي هذا النظام على عدد هائل من أجرام سماوية تعرف بالمذنبات Comets والنيازك والشهب Meteorites لا يمكن رؤيتها إلا إذا دخلت منطقة جاذبية الأرض واندفعت نحوها.

١ ـ المذنبات:

المذنبات هي مجموعة من الأجسام الكونية التي تدور حول الشمس في مدارات بيضاوية مستطيلة نوعاً أو مستطيلة جداً بعضها مقفلة ولذا تعود للظهور بعد فترة من الزمن، والبعض الآخر مداراتها مفتوحة ولذا تمر خلف الشمس، وتخرج بعيدة عن المجموعة الشمسية. والمذنب وهو بعيد عن الشمس عبارة عن كرة كبيرة أو كتلة من الغازات المتجمدة أهمها أول أكسيد الكربون والنيتروجين والأكسجين والصوديوم والميثان. وعندما تقترب هذه الكتلة من

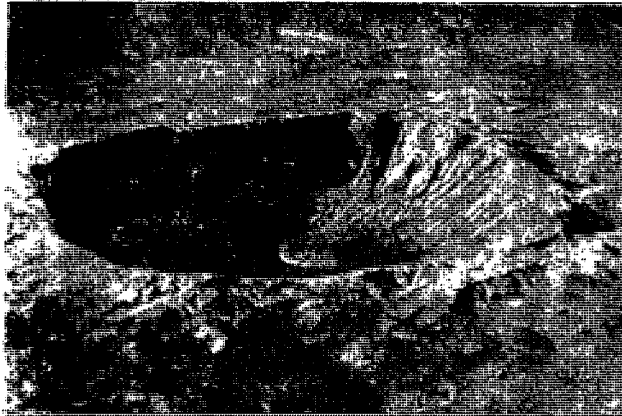
الشمس يتبخر جزء من هذه الغازات ليكون سحابة تحت تأثير ضغط الإشعاع الشمسي بعيداً عن الشمس، ويبدو المذنب وكأنه نجمة كبيرة متجمدة في الوسط ومحاطة بهالة من الغازات وذنب طويل، وكلما اقترب المذنب من الشمس زاد تبخر الغازات، وإذا كان المذنب كبيراً زادت درجة لمعانه مع تكون لسان أو ذيل طويل من الغازات المتوهجة في الفضاء. وتتباين حجوم المذنبات تبايناً عظيماً، فقد يصل حجم رأس المذنب ـ التي تتركب من مجموعات حصوية وحجرية في أشكل عقد متصلبة ـ إلى حجم أحد الكواكب الصغيرة بينما يمتد ذيله عبر ملايين الكيلو مترات ـ كما تختلف في أشكالها فبعضها يتخذ شكلاً طولياً والبعض الأخر يتخذ شكلاً مروحياً (أي بلا ذيل) تبلغ مساحتها الآف الكيلومترات المربعة. ويمكن رؤية المذنب في الفترة التي يكون فيها قريباً من الشمس بالمناظر الفلكية أو بالعين المجردة ـ إذا كان حجم المذنب كبيراً ـ ويقدر عدد المذنبات التي ترى بالعين المجردة في العام من مختلف الأماكن على سطح الأرض بما لا يزيد عن خمسة مذنبات. أما ما يمكن رصده فيقدر بالعشرات كل عام، ومهما يكن من أمر فأن العلم لم يكتشف سر المذنبات إلى اليوم. ولكن زاد اهتمام العلماء برصد المذنبات بعد اختراع المكشافات الفلكية، وأجريت دراسات مستفيضة عن مكوناتها المختلفة والتي تتغير كلما اقتربت من أحد الكواكب أو من الشمس حيث ثبت أن هناك بعض الحالات التي تجذب الشمس فيها المذنبات بقوة كبيرة فتحدث بها انشطاراً أو قد تحطمها تماماً لتنتشر في الفضاء. وترجع أهمية رصد ودراسة المذنبات إلى فائدتها في دراسة المادة في ظروفها المختلفة حيث تتكون المذنبات من مجموعة من المواد تحت درجات حرارة وضغط مختلفة عما قد يتواجد على الأرض، وبالتالي فإن دراسة المواد في صورها ومجالاتها المختلفة، والتعرف على تركيبها الطبيعي والكيميائي تفيد في دراسة إمكانية استخدامها في حياتنا على الأرض. فلقد تحقق مثلاً من دراستنا للطاقة الشمسية من قبل إلى التعرف على الطاقة الذرية التي بجري استخدامها الآن على أوسع نطاق في المفاعلات الذرية المخنلفة، وفي

المجالات الطبية والزراعية والصناعية، كما أن هناك بعض المواد التي اكتشفت أولاً في جو الشمس كالهليوم قبل معرفتها على سطح الأرض، وبعض المركبات الكيمائية معروفة الآن في الأجرام السماوية لا توجد مثيلاتها على الأرض. ومن أشهر مذنبات القرن العشرين مذنب مورهاوس (شكل رقم: ١٤ ـ ١) الذي ظهر في عام ١٩٠٩ ومذنب هالي (شكل رقم: ١٥ ـ ١) الذي ظهر في ١٥ مايو ١٩١٠. والمذنب هالي أكثر المذنبات أهمية من الناحية الفلكية، كما يختلف عن بقية المذنبات بأنه بلا ذيل ويبدو على شكل مروحة يبلغ قطرها ١٠٠ ألف كيلومتراً. وقد نجح علماء وكالة الفضاء الأمريكية في رصده من الفضاء الخارجي بواسطة الأقمار الصناعية يوم ١٦ أكتوبر ١٩٨٢، كما كان ينتظر ظهوره بصورة واضحة للعين المجردة خلال عام ١٩٨٦، وأهمية المذنب هالي ترجع إلى إثبات نظرية العالم الرياضي الإنجليزي هالي Hally الذي سمى المذنب باسمه والذي أمكنه أن يستنتج أن بعض المذنبات تدور حول الشمس في مدارات بيضاوية مقفلة تستغرق ٧٦ سنة أرضية كاملة. وقد أمكن رصد المذنب هالي عند اقترابه من الأرض في ١٢ مايو ١٩٨٣ أي قبل موعد ظهوره بصورة واضحة بثلاث سنوات باستخدام كاميرات الكترونية خاصة يمكنها تصوير الأجرام الخافتة جداً، وسوف تزيد إضاءة المذنب تدريجياً للسماء كلما اقترب نحو الشمس لتصل إلى الحد الذي يمكن العلماء في كل مكان من رصد المذنب بالمناظر المختلفة وحيث بالعين المجردة.

٢ ـ النيازك:

النيازك هي عبارة عن حطام أجسام كونية متحللة تشبه في تركيبها تركيب الكواكب من نوع الأرض، وكثيراً ما تصل إلى سطح الأرض بسبب حجومها الكبيرة، فترتطم بالأرض بقوة هائلة، وتسبب فيها حفراً عميقة. وقد أمكن حصر حوالى ١٤ حفرة منها حفرة فرايت فورت بالترنسفال في جنوب إفريقيا يبلغ عرضها حوالى ٤٠ كيلومتراً، ويعتقد بأن النيزك الذي كونها كان قطره ١,٦

كيلومتراً تقريباً، وحفرة وولف بأستراليا، وحفرة شوب Chubb في ولاية كويبك بكندا ويبلغ اتساعها ٣,٤ كيلومتراً كونها نيزك من الحديد. ومن أشهر النيازك التي وصلت إلى سطح الأرض نيزك سيبيريا العظيم الذي سقط عام ١٩٠٨ وهز سطح الأرض، كما سبب تلفاً عظيماً في دائرة زاد قطرها عن ٤٠ كيلومترا. وهناك أيضاً نيزك الأريزونا بأمريكا الشمالية الذي أحدث حفرة عميقة زاد قطرها على ١,٦ كيلومتراً كما زاد عمقها على ٢٠٠ متراً (شكل رقم: ١٣ ـ ١). وقد حدث عن تصادم ذلك النيزك بسطح الأرض أن انفجر النيزك من شدة الارتطام وتطايرت أجزاؤه في صورة شهب تناثرت حول الهوة التي سقط فيها بحيث غطت مساحة شاسعة حولها، ويقدر وزن هذا النيزك بنحوه مليون طن، كما قد قطره بنحو ١٢٠ متراً، وقد ارتطم بالأرض بزاوية قدرت بنحو ٣٠ درجة في اتجاه الجنوب. كما اكتشف في القارة القطبية الجنوبية (أنتاركتيكا) عام ١٩٨٢ أحد النيازك التي يعتقد أنه انفصل عن القمر على أثر سقوط مذنب ضخم قبل ١٠٠ ألف سنة، وأنه قطع مسافة ٤٠٠ ألف كيلومتر، وهي المسافة التي تفصل بين القمر والأرض، قبل أن تتلقفه الجاذبية الأرضية.



(شكل رقم: ١٣ ـ ١): الحفرة التي أحدثها نيزك الأريزونا بأمريكا الشمالية

ويمكن القول أن النيازك تنقسم إلى نوعين رئيسين هما: الأحجار السماوية والكرات النارية، والنوع الأول لا يسقط إلا نادراً ومن أمثلة هذه الأحجار الحجر الذي عثر عليه في جزيرة جرنيلند وهو يزن ٣٦,٥ طناً. أما الكرات النارية فلا تصل إلى سطح الأرض ولكن ضوئها يخطف الأبصار من شدة لمعانه وهي عادة تتحرك بسرعة فائقة، وقد تنفجر صخباً قوياً.

ويعتقد العلماء أن بعض النيازك التي سقطت على الأرض على مدى ١٥٠ عاماً مضت ربما تكن قادمة من كوكب المريخ أو من القمر. وإذا بحثت صحة هذه الافتراضات فانها ستقلب تماماً كل النظريات القديمة التي تؤكد أن النيازك ليست جزءاً من مخلفات المجموعة الشمسية، وإذا ثبت أن بعض النيازك التي وجدت على سطح الأرض في أماكن عديدة من العالم (في مصر والهند والبرازيل والولايات المتحدة) والتي يبلغ عمر كل منها ملياراً أو ٣٠٠ ألف سنة أنها فعلاً من المريخ، فأنها يمكن أن تصبح أهم صخور من خارج الأرض منذ عودة مركبة الفضاء «أبوللو» بعينات من تربة القمر عام ١٩٦٩. أما الصخور الأخرى التي عثر على أقدمها في فرنسا عام ١٨١٥ فيرجح العلماء أن ثورات بركانية على سطح المريخ قذفت بها إلى الفضاء منذ ملايين السنين.

٣ ـ الشهب:

تختلف الشهب عن النيازك في أنها أقل حجماً، الأخيرة يصل قطرها بضعة أمتار، وكما ذكرنا فإن الشهب تسبح في الفضاء في شكل أسراب من الأجسام الصغيرة التي تتركب من المعدن أو الصخر. وهي عادة تنطلق بسرعة فائقة قد تصل إلى ٧٢ كيلو متراً في الثانية الواحدة ومن المعروف أن شهاباً واحداً يصل وزنه إلى جزء من الألف من الجرام الواحد عندما يتحرك بهذه السرعة يكتسب طاقة تعادل طلقات رصاص البنادق رغم أن حجمه قد لا يتعدى حجم حبة الرمل. وتندفع آلاف الملايين من مثل هذه الشهب إلى جو الأرض الخارجي بفعل الجاذبية الأرضية، ولكنها سرعان ما تتبخر أو تحترق بسبب الحرارة



(شكل رقم: ١٤ـ ١) مذنب مورهاوس الذي ظهر عام ١٩٠٨: لاحظ الغازات الشديدة التوهج في ذيل هذا المذنب.



(شكل رقم: ١٥ ـ ١) أحدث صورة للمذنب هالي تم التقاطها من الأقمار الصناعية في ١٦ أكتوبر ١٩٨٢، ومنها يظهر كنقطة مضيئة يتبعها ذنب طويل.

الشديدة التي تتولد إثر احتكاكها بالغلاف الجوي للأرض عندما تندفع بسرعة وتدخل الغلاف الجوي للأرض، بينما يصل بعض من موادها إلى الأرض، إلا أن الشهب قد تختفي عادة على ارتفاع نحو ٨٠ أو ١٠٠ كيلومتراً من سطح البحر، وهكذا يحمي الغلاف الجوي الأرض من الشهب ومخاطرها.

ويعتقد علماء الطبيعة الجوية أن لغبار الشهب وأتربتها تأثيراً على إثارة السحب وعمليات التساقط بوجه عام في جو الأرض وإذ أنها تكون ما يعرف بنوابات التكاثف التي تتجمع عليها جزئيات بخار الماء العالق بالهواء لتكون نقطاً من الماء أو بلورات من الثلج داخل السحب.

ومجمل القول أن الفضاء الكوني القريب لنا ليس فراغاً تاماً كما يتبادر إلى الذهن، ولكنه يفيض بالظواهر الكونية، وتسبح فيه أجرام مختلفة. ويبدو أن الإنسان على الأرض لاحظ هذا الفضاء الفسيح الممتد فوق رأسه، فلم يتردد في أن يتخذ من بعض هذه الأجرام آلهة يعبدها، ومن بعض نجوم السماء وكواكبها علامات تعينه على التنبوء بالمستقبل الذي غاب عنه. وما أن تقدم به ركب العلم والمعرفة حتى بدأ يفكر في ارتياد الفضاء، وتحقق ما كان يحلم به، وأخذت طلائع سفن البشر تجوب أركان الفضاء القريب. وكان للتطور السريع في علوم الفضاء، بفضل استخدام أدوات الرصد الفلكية (مثل الرادار والراديو والمكشاف وأنواع من الإشعاعات غير المرئية) والصوارخ والمركبات الفضائية، أكبر الأثر في مجال استكشاف الكون وإماطة اللثام عن أسرار النظام الشمسي وكيفية نشأته وتطوره، وكيفية بدأ الحياة، والبحث عن شواهد للحياة من أي نوع على سطح الكواكب الأخرى غير كوكب الأرض، فكل يوم يأتينا بأفكار جديدة، وتأكيدات لحسابات قديمة وتفاصيل جديدة تقرها التجارب والمشاهدات. وسجل، وسيسجل، غزو الفضاء العديد من الاكتشافات البارزة والعبقرية للعقل البشري، والتي لم تكن ممكنة إلا بعد ٤ أكتوبر ١٩٥٧ (بداية عصر الفضاء بإطلاق أول قمر صناعي روسي يدور حول الأرض)، ذلك التاريخ الذي سيحفر كبداية لعصر جديد يشكل نقطة تحول في تاريخ البشرية، فلقد غيرت الأقمار الصناعية كثيراً

من تصوراتنا السابقة عن الأرض، إذ استخدمت في قياس نصف قطر الأرض بدقة تصل إلى ١٠ أمتار (٣٠ قدماً)، وفي تحديد مواقع الظواهر الجغرافية، كما ساعدت على معرفة الأحزمة الإشعاعية الهائلة التي تحيط بالكرة الأرضية والتي يصل سمكها إلى ٨٠٠٠٠ كيلومتر (٥٠٠٠٠ ميلاً) والتي تعتريها تغيرات مرتبطة بالتطورات التي تحدث في دائرة البقع الشمسية، وترتبط هذه الظواهر بالتغيرات التي تحدث في نظام دوران الشمس حول محورها. ولقد عرف العلماء من الأقمار الصناعية ومعامل الفضاء أيضاً، أن القبة الزرقاء، أو السماء الزرقاء ليس لها وجود في الوقع فإنها لا تعدو أن تكون ظاهرة ضوئية تنشأ بسبب تناثر أشعة الشمس الزرقاء وتشتتها بوفرة في جو الأرض فتغمره باللون الأزرق. ولا تحدث هذه الظاهرة في الفضاء، فيبدو لمرتديه على حقيقته، أي حالك الظلام، تومض نجومه على الدوام كما ترى الشمس بارزة وتخز أشعتها الأجسام. وكذلك عرف العلماء أن الأرض تبدد حوالي مائة طن يومياً من الإيدروجين بسبب ما يتبخر من سطح المحيطات هذا من ناحية، ومن ناحية أخرى تتساقط على الأرض الآف الأطنان من حديد الشهب والتراب الشهبي حبيسة الأرض وغلافها الجوي، كما لو كان بنو البشر يعيشون في حاضن صناعي. ففي خلال السنوات القليلة الماضية تمكنت هيئة الفضاء الأمريكية من إرسال مركبات فضاء اقتربت من عطارد والزهرة والمريخ والمشترى، كما نجح السوفيت في الوصول إلى جو الزهرة أكثر من مرة، فتم اكتشاف الخرائط التفصيلية لكواكب لم تكن بالنسبة لسكان الأرض قبل عشرين عاماً سوى أكثر من بقعة ضوء في سماء الليالي غير القمرية (كوكب الزهرة)، ورسمت بالتفصيل خرائط لسطح كواكب أخرى ابتداءً من سحب الزهرة الفوسفورية البراقة إلى وديان المريخ الشاسعة المجدبة إلى براكين أقمار المشترى المتجمدة بكتل الجليد. وقد تمت هذه المنجزات بواسطة مختبرات أوتوماتيكية تعمل على بعد مسافات سحيقة وصلت في بعض الأحيان إلى بليون ونصف بليون كيلومتر بعيداً عن سطح الأرض. ولكن لا يزال العلماء على الأرض يبغون تحقيق عدة أهداف، من بينها تحديد أصل المجموعة

الشمسية وتوضيح سبب نشوء وتطور الحياة على الأرض دون بقية الكواكب، وتحديد الموارد المتاحة من الثروات المعدنية. ولذلك وضعت خطة جديدة لبرنامج الفضاء الأمريكي تقترح بناء «أوتوبيس فضائي» يكون بمثابة قاعدة دائمة ترسل منها أقماراً اصطناعية لرسم خريطة أكثر تفصيلاً لكوكب الزهرة، ودراسة مناخ المريخ، وأصل الكويكبات، وسطح تيتان أكبر أقمار زحل، على أساس أن فهم مناخ المريخ يساعدنا على فهم التقلبات الماضية والمنتظرة في مناخ الأرض، ودراسة الكويكبات تمهد لاستغلال ثرواتها المعدنية، كما أن دراسة كل من الزهرة وتيتان تساعدنا على فهم أسباب تطور الحياة على الأرض.

ومع الاكتشافات الجديدة والإنجازات المتجددة لن يكتشف الإنسان الكون كله... ولن يكتشف نجومه وكل كواكبه كما اكتشف كل القارات التي يجب أن نعتبرها جزراً على سطح كوكب الأرض.

الفصـل الثانـي

نشأة وخصائص كوكب الأرض

نشأة وخصائص كوكب الأرض

سبق أن قلنا أن الأرض أحد وحدات النظام الشمسي أو كوكب من كواكب المجموعة الشمسية، وهي تدور حول الشمس كغيرها من الكواكب. والسؤال أو الأسئلة الأن هي ماذا كان شكل الأرض منذ ٥٠٠ مليون سنة؟ متى ظهرت الجبال الالتوائية على سطح الأرض؟ متى انشقت الأرض وتكونت القارات وما بينها من محيطات؟ وغيرها كثير من الأسئلة التي تطوف دائماً بخاطر المرء، وقبل أن نبدأ في بحث تاريخ الأرض نفسها منذ تكوينها إلى وقتنا الحالي يجب أن نلم ولو إلماماً موجزاً عن أصلها، وعن أهم النظريات التي حاولت أن تشرح طريقة تكوينها وانفصالها كغيرها من كواكب المجموعة الشمسية.

نشـــأة الأرض:

اختلفت آراء العلماء منذ وقت بعيد في وضع تفسير موحد لنشأة الكون بوجه عام ولنشأة المجموعة الشمسية، والأرض أحد أفرادها، بصفة خاصة، وهكذا قامت عدة نظريات لعديد من علماء الجيولوجيا والفلك والرياضيات والطبيعة وغيرها، تحاول كل منها البحث في كيفية نشأة وتكوين الأرض. ويمكن تقسيم هذه النظريات إلى مجموعتين هما:

أ ـ مجموعة النظريات القديمة، وتشمل:

١ ـ نظرية كانت I. Kant.

٢ ـ نظرية لا بلاس P. Laplace.

ب ـ مجموعة النظريات الحديثة، وتشمل:

٣ ـ نظرية تشمبرلن ومولتن Chamberlin and Moulton.

٤ ـ نظرية جفريز وجينز Jefferys and Jeans.

٥ ـ نظرية هُويل Hoyle.

٦ ـ نظرية فايتسيكر Von Weizsacher.

٧ ـ نظرية يوري Yory.

وبديهي أن كل هذه نظريات افتراضية، وسنعطي فكرة سريعة مختصرة خالية من التعقيد عن كل نظرية منها.

١ ـ نظرية كانت:

تقدم الفيلسوف الألماني إيمانويل كانت في سنة ١٧٥٥ بنظرية لتفسير نشأة المجموعة الشمسية تتلخص في أن المجموعة الشمسية كانت عبارة عن أجسام صغيرة صلبة تسبح في الفضاء الكوني بسرعة فائقة. ونظراً لخضوع هذه الأجسام لقوى الجذب فيما بينها وهي تتحرك فتجمعت الأجسام الصغيرة حول الأجسام الكبيرة ونشأ عن هذه التجمعات عقد ضخمة من المواد الكونية أخذت تتجاذب وتتصادم، ونتج عن تصادمها حرارة شديدة كانت كافية لأن تحول هذه المواد إلى غازات متوهجة كالغازات التي يتكون منها السديم Nebula وتولدت قوة ساعدته على الدوران حول نفسه بسرعة كبيرة، ونتيجة لتلك الحركة السريعة وما نشأ عنها من قوة طاردة مركزية برزت الأجزاء الاستوائية من كتلة السديم وبدأت تنفصل منه حلقات غازية كان لكل حلقة منها قوة جاذبة خاصة، وبانفصال الحلقات الواحدة تلو الأخرى لم يتبق في النهاية إلا نواة السديم (الجزء الأوسط) وهو الذي يتكون منه الشمس الحالية. وأخذت الحلقات تدور حول

نواة السديم وبالتدريج تكاثفت مواد كل حلقة في هيئة نيازك أخذت تتحد ببعضها بتأثير قوي الجذب مكونة لكوكب أو لكواكب المجموعة الشمسية المعروفة في ذات الوقت.

ونظرية «كانت» لا يمكن قبولها من الناحية الديناميكية، لأنها تؤمن بأن الأجسام تتحول من الحالة الصلبة إلى الحالة الغازية دون أن تمر بحالة السيولة ولكنها اكتسبت شهرتها بقيمتها التاريخية، إذ أنها تعد في حقية الأمر اللبنة الأولى التي بنى حولها العالم الفرنسي لابلاس نظريته المشهورة.

٢ ـ نظرية لابلاس:

توصل العالم الفلكي الفرنسي «لابلاس» في عام ١٧٩٦ إلى وضع نظريته المعروفة باسم النظرية السديمة أو الحلقية Nebular or Ring hypothesis وذلك بعد أن قرأ عن حلقات حول الكوكب زحل. ويمكن تلخيص فكرة نظرية لابلاس في أن كل كواكب المجموعة الشمسية كان في الأصل عبارة عن كتلة كروية من الغازات الشديدة الحرارة «السديم» ذات قطر أكبر من قطر النظام الشمسي المعروف حالياً. كذلك افترضت النظرية أن هذه الكتلة السديمية كانت في حركة دائرية منتظمة وأن اتجاه دورانها كان هو نفس اتجاه دوران الكواكب الحالية، وبعد ذلك أخذت هذه الكتلة في الانكماش تدريجياً نتيجة لفقدان حرارتها بالإشعاع وكان من نتيجة ذلك زيادة سرعة حركتها الدائرية ونتج عن هذه الحركة إنبعاج في منطقة السديم الاستوائية بفعل القوة الطاردة. وافترضت النظرية بعد ذلك انفصال حلقة من الغازات من حول الأجزاء المنبعجة عندما تعادلت القوة الطاردة المركزية Centrifugal Force مع قوة الجذب ناحية المركز. ثم استمر انكماش كتلة السديم وزادت سرعته فانبعجت أجزائه الاستوائية وانفصلت حلقة بعد الأخرى حتى أصبح عدد هذه الحلقات سبعاً هي التي كونت فيما بعد الكواكب السبعة المعروفة آن ذاك والتي اتخذت لنفسها



(شكل رقم: ١ـ ٢) شكل يوضح تفسير نشأة الكواكب كما يراها لابلاس

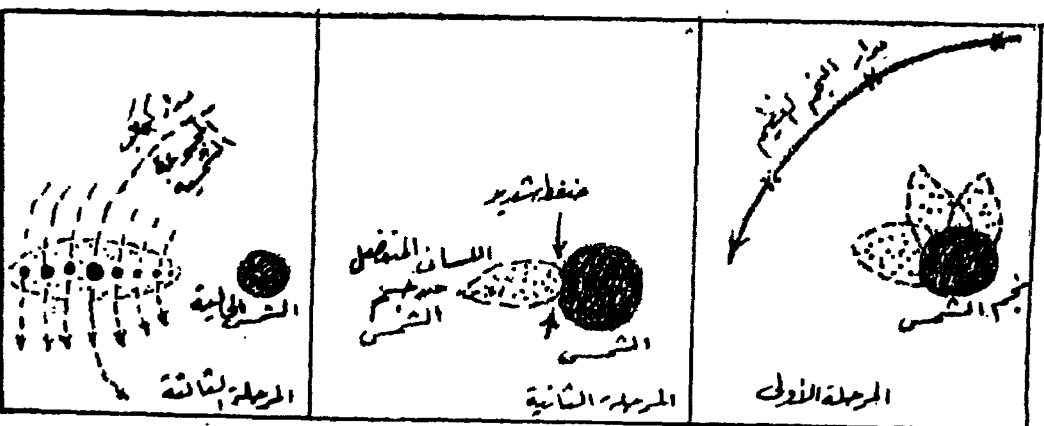
مدارات مختلفة حول الشمس. وقد استمر انكماش الكواكب نفسها قبل أن تبرد فانفصلت عنها، بنفس الطريقة التي تكونت بها بعض الحلقات التي كونت فيما بعد توابع هذه الكواكب (الأقمار) Satellites (شكل رقم: ١ ـ ٢).

وقد سادت هذه النظرية في أغلب الأوساط العلمية زهاء ثلثي قرن إلى أن تقدم العالم الإنجليزي ماكسويل Maxwell في عام ١٨٥٩ برأي يقول أن حركة دوران الكواكب تبلغ في مجموعها نحو ٤٩ سنة قدر حركة دوران الشمس نفسها (نواة السديم) بينما لا يتعدى مجموعة مادتها جزءاً واحد من ٧٠٠ جزء من مادة الشمس فكيف أمكن تلك الحلقات الغازية ـ التي انفصلت من السديم بفعل القوة الطاردة المركزية ـ أن تجمع لنفسها تلك المقادير الهائلة من حركة الدوران؟ وهكذا سقطت نظرية لابلاس.

٣ ـ نظرية تشمبرلن ومولتن:

تعرف هذه النظرية باسم نظرية الكويكبات أو النظرية الحلزونية: Planetesimal or Spiral Hypothesis وتقدم بها في عام ١٩٠٤ العالمان الأمريكيان الجيولوجي «تشمبرلن» والفلكي «مولتن». ويفترضا بأن مادة الكتلة الضخمة التي كانت تتكون منها الشمس الكواكب المختلفة، كانت على هيئة حلزونية أو لولبية Spiral وأن هذه المادة كانت تتكون من جزئيات منفصلة سميت بالكويكبات Planetesimals وقد كان مكانها وحركتها داخل هذه الكتلة الضخمة يعتمدان على مدى سرعة هذه الكويكبات وقوة الجاذبية المشتركة بينها.

والمعتقد أن السبب في تكوين مثل هذه الكتلة الحلزونية من الكويكبات حسب هذه النظرية هو في الأصل نتيجة للانفجارات الشمسية من جهة، ونتيجة حالة من المد الشديد نشأ عنها تولد لسان كبير أو نتوء غير عادي من مادة الشمس التي سببها نجم مار حول الكتلة الشمسية من جهة أخرى. ونتيجة



(شكل رقم: ٢ -٢) تفسير نظرية تشمبرلن ومولتن (نظرية الكويكبات)

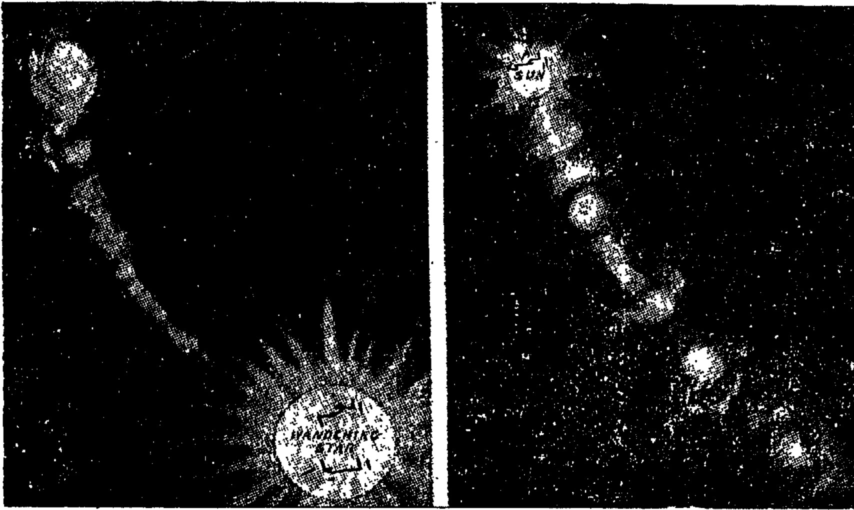
لحركة هذا النجم المنتظمة فإن قوة جذب الكويكبات إليه بالنسبة لكل نقطة يمر بها حول الشمس قد سببت الشكل الحلزوني لمدارات هذه الكويكبات. وعندما زاد اقتراب النجم من الشمس ضعف تماسك ذلك النتوء الشمسي فانفصلت أجزاء منه على أبعاد مختلفة وحدث بعد ذلك أن تبلورت من تلك الأجزاء المنفصلة كتلة كاملة أخذت تتجمع مكونة في النهاية الكواكب.

وهكذا يمكن تصور كوكب الأرض على أنه واحدة من هذه الأجسام التي انفصلت عن الشمس أثناء مرور ذلك النجم الذي كان يدور حولها. وافترض تشمبرلن ومولتن أن الأرض بردت بسرعة بعد انفصالها عن الشمس ثم أخذت تصطدم خلال ملايين عديدة من السنين ببعض الكويكبات الأخرى التي أخذت تضمها إلى كتلتها الواحدة تلو الأخرى. كذلك أكد هذان العالمان أن الأرض لم تكن في حالة سائلة في ذلك الوقت، وأن اصطدام هذه الكويكبات بسطح الأرض أثناء دورانها كان كافياً لصهر هذا الجزء من سطح الأرض والتصاق الجسم الغريب به. ونتيجة لتجمع هذه الكويكبات الكثيرة مع الأرض أثناء نموها، ازدادت قوة الجاذبية وتركزت هذه القوة في مركز الأرض، بينما انطلقت الغازات وتكثفت بعضها وكونت الغلافين الجوي والمائي حول سطح الأرض اليابس.

٤ ـ نظرية جفريز وجينز:

تعرف هذه النظرية بنظرية المد الغازي Gaseous Tidel Hypothesis وقد تقدم بها العالمان الانجليزيان هارولد جيفريز عالم الطبيعة الأرضية والفلكي جيمس جينز في عام ١٩٢٧ لكي يتلافى نقط الضعف والاعتراضات المختلفة التي عانت منها نظرية تشمبرلن ومولتن (نظرية الكويكبات). وتقوم هذه النظرية على أساس أن انفصال الكواكب عن الشمس كان بسبب عامل واحد فقط هو جذب النجم السيار للشمس وليس كما ذكر تشمبرلن ومولتن عن الطريقة التي

انفصلت بها الكواكب عن الشمس كانت نتيجة عاملين هما: عامل الانفجار الذي يصيب جسم الشمس وعامل جذب النجم الشمسي. وتقول النظرية أن قوة جذب النجم قد أثرت في جسم الشمس، فكونت مداً هائلاً في جانب واحد من جوانب الشمس هو الجانب المواجه للنجم (شكل رقم: ٣ ب ـ ٢)، وساعد ذلك على امتداد عمود اسطواني هائل من الغاز بلغ طوله طول المسافة بين الكوكب بلوتو والشمس. ولم يكن قطر هذا العمود الاسطواني واحد في جميع أجزائه إذ كانت نهايتيه أقل سمكاً منه في وسطه. وبمرور الوقت انفصل هذا العمود إلى عشرة أجزاء، تكون من تسعة منها الكواكب التسعة المعروفة وكون العاشر مجموعة الكويكبات التي تقع بين المريخ والمشتري (شكل رقم: ٣حـ ـ ٢).



(شكل رقم: ٣ ـ ٢) تفسير نظرية جفريز وجينز (نظرية المد الغازي)

ويفهم من هذه النظرية أن الكواكب جميعها كانت في أول الأمر غازية ثم تحولت بالتدريج إلى سائلة ثم إلى الحالة الصلبة. كما يفهم أن الكواكب الغازية انفصلت منها قبل تكاثفها كتل كونت فيما بعد الأقمار التابعة لها. وهذا يفهم أيضاً من النظرية أن الكتل التي انفصلت واستقلت في الوسط كانت أكبر من

غيرها ومنها نشأة الكواكب الأكبر حجماً، أما الكواكب الصغيرة فقد تكونت عند طرفي العمود الاسطواني في الغازي. ويتفق هذا الترتيب مع الوضع الحالي لكواكب المجموعة الشمسية كما رأينا من قبل.

٥ ـ نظرية هويل Hoyle Hypothesis :

تعرف هذه النظرية بنظرية الازدواج النجمي «أو نظرية ميلاد نجم جديد The Nova Theory وهي من أحدث النظريات الخاصة بنشأة الكرة الأرضية وقد تقدم لها الفلكي الفريد هويل لكي يتفادى الاعتراضات الرئيسية التي وجهت إلى نظرية المد الغازي وهي أن الكواكب ما هي إلا قسم بسيط من الكتلة الكلية للمجموعة الشمسية ومع هذا تبعد بعداً فائقاً عن الشمس التي تتحرك حولها كما أن الشمس تتركب في معظمها عن عناصر غازية خفيفة كالايدروجين والهليوم وهي عناصر يقل وجودها في الأرض التي نجد أنها والكواكب الأخرى تتركب من نسب كبيرة من عناصر ذرية مركبة وزنها الذري عظيم كالحديد والألمونيوم وهي عناصر نادرة الوجود في جسم الشمس.

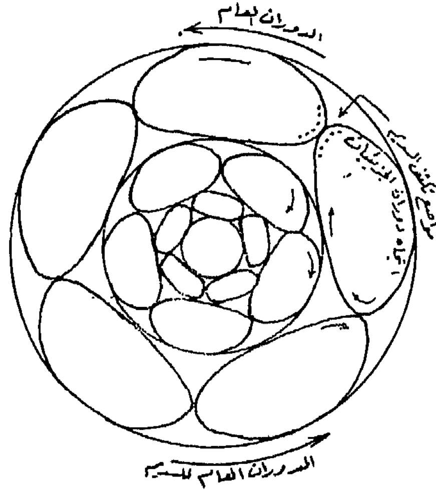
وتعتمد نظرية هويل في صياغتها على أن الشمس لم تكن الأصل الذي تكونت منه الكواكب، بدليل أن الجزء الأكبر من مادة الأرض، يتكون من مواد معينة ثقيلة لا تتواجد بهذه النسب العالية في جسم الشمس التي سواء مادتها من الأيدروجين ورماده بعد التفجير الذري وهو الهليوم. وتقودنا هذه الحقيقة إلى أن الأرض وأمثالها من الكواكب تدخل إلى الكون أنواعاً من المادة تختلف في مجموعها كثيراً عما يسود داخل الشمس. وتذكر هذه النظرية أن تكون الكواكب من نتائج انفجارات أحد النجوم البراقة (المتوهجة والشديدة اللمعان)، التي سبق ذكرها، وهو الذي سماه هويل «سوبرنوفا Supernova». وقد يصل معدل استهلاك الايدروجين الذي يبنى منه سوبرنوفا إلى نحو ألف ضعف معدل استهلاكه في الشمس ويكون بذلك عمر النجم جزءاً واحداً من مائة جزء من عمر

الشمس على التقريب، بمعنى أنه إذا قدر للشمس أن تعيش ٥٠ ألف مليون سنة فأن النجم العملاق لا يعيش إلا نحو ٥٠٠ مليون سنة فقط. وعندما يستنفذ كل الايدروجين الذي في النجم تنقطع بذلك إمدادات الطاقات فيه، إلا أنها تستمر تنطلق من المركز إلى السطح حيث تفقد بالإشعاع المستمر، فيتداعى النجم من الداخل وينهار على نفسه وتتضاعف بذلك مكوناته وترتفع درجة حرارته بشدة فائقة بالتضاغط، ويعمل الضغط الشديد والحرارة المرتفعة على تكوين العناصر الثقيلة داخل السوبرنوفا. وكلما انكمش النجم ازدادت سرعة دورانه وكلما أدى ذلك إلى ازدياد القوة الطاردة المركزية التي تعمل على طرد أجزاء جسم النجم الساخن بعيداً عن المركز ويتم انفجار النجم عندما لا تقوى قوة الجاذبية على العمل على تماسك أجزائه وتنطلق بذلك مادة النجم في الفضاء متناثرة على أبعاد كبيرة. وأدى تكاثف أجزاء النجم فيما بعد إلى نشأة الكواكب المعروفة. وبديهي أن أصل ذلك النجم الذي انفجر، بالطريقة التي ذكرتها النظرية، وتكونت منه المجموعة الشمسية كان قريناً لشمسنا الحالية ومصاحباً لها. وكثير من الشموس في الفضاء الكوني اليوم يصاحبها مثل هذه النجوم المتفجرة، وبذلك فإن ظاهرة الازدواج النجمي نجدها شائعة نسبياً في الكون. وترى النظرية أيضاً أن انفجار السوبرنوفا ولد حرارة مرتفعة وهائلة تصل إلى نحو ٣٠٠ ضعف قدر درجة حرارة في مركز الشمس (أي ٦ × ١٠^{٩} درجة مئوية) وهي الحرارة التي يعتقد أنها كافية لتكوين شتى العناصر التي تتكون منها الكواكب.

٦ ـ نظرية فايتسيكر:

وقد قامها الفلكي الألماني فايتسيكر Von Weizsacher بوضع نظرية، على أساس نظرية «كانت»، تعرف بنظرية السحب السديمية Nebular- Cloud Theory والتي تقول بأن أصل المجموعة الشمسية عبارة عن كتلة غازية هائلة كانت تدور حول نفسها. ولم يكن بتلك الكتلة اختلاف أول الأمر في خصائصها الكيميائية. ثم برد إطارها الخارجي، وتكثفت عناصرها الثقيلة التي تشكلت على ما يشبه

القطرات التي تكونت تدريجياً على مدى زمني طويل، اتخذت أثناءه حركة مثل دوامات كبيرة. ثم اتحدت تلك القطرات مع بعضها ثم تحولت إلى كواكب. وهذه الكتل الغازية كانت تضم دوامات جزئية تشبه تلك التي تلاحظ عند انبثاق كتل الغاز الملتهب فجأة، وهذه الدوامات اتخذت مساراً لها مع المسار العام لكتلة الغاز الأصلية (شكل رقم: ٤ ـ ٢). وحينما كانت تقترب دوامات من بعضها يحدث بينها احتكاك كبير مما يؤدي إلى تكورها واختلاف اتجاه دورانها، فبعضها يأخذ حركة دوران عقرب الساعة والآخر عكسها، وبمثل تلك الطريقة تكونت الأقمار وتباين اتجاه دورانها.



(شكل رقم: ٤ ـ ٢): طريقة نشأة الأرض حسب نظرية فايتسيكر

٧ ـ نظرية يوري:

وتعرف بنظرية السحب الغبارية The Dust Cloud Hypo thesis، وترجع إلى أول الخمسينات من هذا القرن، عندما نادى بها الكيميائي هارولد يوري، حامل جائزة نوبل في العلوم. وتفترض النظرية بأن أصل النظام الشمسي قد نشأ

عن دخول سحابة غازية إلى منطقة خالية في مجموعتنا النجمية، حيث تضاغطت جزئياتها، بفعل ضوء النجوم القريبة منها، وقد وصل التضاغط إلى حد معين، تبعه انهيار الكتلة بفعل قوى الجاذبية، وقد نشأ عن ذلك الشمس تحيط بها حلقة من تلك السحب والغازات التي تجزأت مكونة الكواكب والكويكبيات، وبقية الأجرام الأخرى في النظام الشمسي. وقد تكونت الكويكبيات في مراحلها الأولى نتيجة لتكثف الماء والنشادر. وكانت المرحلة الأولى لنشأ الكواكب هي مرحلة البرودة التي تجمع فيها النار والماء، ثم تلى تلك المرحلة مرحلة من السخونة العالية التي تسمح بانصهار الحديد واتحاد عنصر الكربون مع عناصر أخرى، وتحوله إلى كربون الحديد. وقد بنى يوري نظريته على النظريات السابقة لكل من «كانت» وتشمبرلين ومولتن وعلى مشاهدات الفلكيين الحديثة. فاعتبر المجموعة الشمسية مثل نشأة النجوم التوأمية التي تظهر في مجموعتنا النجمية، والتي تضم نجوماً مزدوجة.

وأهم ما في هذه النظرية هو معالجة نواحي النقص في النظريات السابقة، وتوضيح أسباب الاختلافات الهائلة في العناصر الكيميائية الموجودة في أفراد المجموعة الشمسية، فهو يرجع ذلك ـ حسب مشاهدات الفلكيين ـ إلى هروب الغازات من الكواكب، على سبيل المثال هروب النيون من الأرض وهروب النتروجين والكربون والماء من داخلها إلى السطح، كذلك يعلل ذلك بتحول عناصر إلى أخرى مثل الأرجون الذي تحلل إشعاعياً إلى البوتاسيوم مع مرور العصور الجيولوجية. كما أن غاز الكربتون والزنيون لم يكن لهما وجود من قبل على الأرض، والكواكب الداخلية الأربع القريبة من الشمس قد نفدت فعلاً غازاتها، بينما احتفظ كل من المشتري وزحل بغازاتها، وتزايد عليها الهيدروجين والهيليوم، كما فقد أورانوس ونبتون الهيدروجين والهليوم والميثان والنيون، واحتفظا بالماء والأمونيا. وعلى ما يبدو أن الماء والأمونيا والهيدروكربونات مثل الميثان قد تصلبت تلك في الكواكب الأولية، أما الغبار فقد تناثر في عواصف ثلجية وانتشر في حيز يشمل ما بين الكواكب الحالية.

ويؤكد يوري Yory بأن الأرض قد مرت بحالة السيولة، وإلا استحال تبخر الغازات وهروبها منها. وكما يؤكد أنه قد تبع هروب الغازات، في حالة اكتمال الأرض، زيادة في قوة الجاذبية. ويرى أن التغيير في القصور الذاتي في حالة سيولة الباطن، كان يقابله أثر المد والجزر. وبموافقة الحسابات الفلكية التي تدل على زيادة طول اليوم الناتج عن المد والجزر، وسرعة الدوران الناتجة عن تغير في القصور الذاتي، يرى يوري أن هبوط الحديد من غلاف ما تحت القشرة كان يتم بمعدل ٥٠ ألف طن في الثانية الواحدة نحو المركز، وهو معدل يكفي لأن تتكون نواة الأرض المعدنية في ٥٠٠ مليون سنة.

وكذلك هناك نظريات أخرى قامت كمحاولات لتفسير نشأة المجموعة الشمسية منها نظرية الشمس التوأمية The Binary Star Theory للعالم الفلكي راسيل R. Russell والنظريات التي تقدم بها العلماء الروس ومن بينهم العالم أتوشميث Otto Schmidt والفلكي الطبيعي إمبارسوميان Ambarsumyan وهي نظرية السحب الغازية المتربة أو السديم الغازي المترب Gas- dust Nebula.

والخلاصة أن لكل نظرية من النظريات التي لخصناها مكانتها، كما أن فيها أيضاً مواضع ضعف مختلفة. وسواء رجحت نظرية لابلاس أو جيفريز وجينز أو هويل أو غيرها من النظريات، أنها بالرغم من اختلافها في تصوير وسائل التشكيل اللازمة لوحدات النظام الشمسي (الكواكب) فإن مركبات وعناصر هذا العنظام يمكن أن تتواجد في ملايين السدم المتعددة مما يزيد من احتمال وجود كواكب أخرى لا حصر لها تتبع ملايين الشموس المنتشرة في أرجاء الفضاء الكوني.

عمـــر الأرض

كانت معرفة عمر الأرض دائماً مثار جدل ونقاش بين العلماء، فالإنسان منذ القديم حاول أن يعرف عمر الأرض والحياة على سطح هذا الكوكب، وقد

أخذ الجدال بين العلماء في أول الأمر شكلاً فلسفياً وكان مبنياً على أساس هل أنَ الأرضَ أزلية في هذا الوجود أم أنها ظهرت وتكونت في وقت معين يمكن تحديده؟ وقبل أن نخوض في هذا الموضوع يجب أن نفرق بين مصطلحين هما: العمر المطلق للأرض Absolute age والعمر النسبي Relative age لها. ويقصد بالعمر المطلق تقدير عمر الأرض نفسها، أو على الأقل منذ أن بدأت قشرتها الخارجية في التصلب. أما العمر المطلق النسبي فيقصد به تقدير عمر صخور الأرض وخاصة الصخور الرسوبية التي يعتمد تقدير عمرها على دراسة طبقات تلك الصخور وما تشمله من حفريات نباتية وحيوانية، وهو ما يفيد في إعطاء تقدير للجزء الحديث من تاريخ الأرض.

وقد كان يعتقد بأن عمر الأرض لا يتجاوز بضعة آلاف من السنين، إذ حدده الفرس القدماء بنحو ١٢ ألف سنة، وحدده ورجال الدين الهندوسي بنحو بليوني سنة، أما الأسقف الإيرلندي جيمس أُسشر James Ussher في القرن الرابع عشر الميلادي، فقد حدد عمر الأرض إذ قال بأنها خلقت في الساعة التاسعة من صباح يوم ٢٦ اكتوبر (تشرين الأول) عام ٤٠٠٤ قبل الميلاد. وقد توصل أُسشر إلى هذه النتيجة من حسابات دقيقة استقاها من دراسة المخطوطات والكتب الدينية القديمة. واعتقد بعض رجال الدين الأخرون بأن الفترة الواقعة بين ميلاد آدم والمسيح ٥٥١٥ سنة.

وقد حاول علماء الجيولوجيا والفيزياء والكيمياء تحديد عمر الأرض على أسس علمية وبطرق مختلفة منها دراسة ملوحة المحيطات، فمن الحقائق العلمية المسلم بها بين العلماء الجيولوجيين أن المحيطات في بداية تكوينها كانت مياهها عذبة، أما كمية الأملاح الموجودة الأن في مياه المحيطات (والتي تقدر حالياً بحوالي ٢٢ مليون كم^3 ـ والتي تشكل طبقة حول الكرة الأرضية بسمك ٤٥ متراً)، نتجت عن عمل الأنهار التي تحمل سنوياً كميات كبيرة من أملاح اليابسة، وتتبخر المياه ثانية من المحيطات لتسقط على اليابسة وتبقى الأملاح متجمعة في المحيطات. وقد أكد بعض العلماء بأنه من الممكن استنتاج طول

الزمن الذي مر منذ أن تكونت المحيطات وذلك من كمية الأملاح الموجودة حالياً في المحيطات، ويعد العالم الإنجليزي ادموند هالي (الذي سمي باسمه المذنب المشهور هالي) أول من قام بهذه الدراسات وقدر عمر المحيطات بحوالي ١٠ آلاف سنة، والسبب في حصوله على هذا الرقم غير الصحيح هو عدم معرفته كمية المياه الموجودة فعلاً في المحيطات وكذلك كمية الأملاح التي تنقلها الأنهار سنوياً إلى المحيطات. أما العالم جولي فقد وجد بأن هذا الزمن يساوي ٨٠ ـ ٩٠ مليون سنة، وقدره الآخرون بحوالي ٩٠ ـ ٣٥٠ مليون سنة. أما التقديرات الحديثة التي أجريت وبنفس الطريقة، فقد حددت أن عمر الأرض يتراوح بين ٣٣٠ ـ ١٥٠٠ مليون سنة. ومما تجدر الإشارة إليه أن التقديرات المبنية على هذه الطريقة غير أكيدة لأسباب عديدة منها أن نسبة الزيادة في ملوحة مياه المحيطات خلال الأزمنة الجيولوجية المختلفة كانت غير ثابتة وكذلك معدل التبخر ليس مساوياً لمعدله في الوقت الحاضر.

ثم قام العلماء بعد ذلك بدراسة سمك الطبقات الرسوبية في القشرة الأرضية لتقدير عمر الأرض. فمن المعروف أن الصخر الرسوبية تتكون من مواد تفتت من صخور أخرى نارية أو متحولة أقدم تكويناً، وحدثت عملية التفتت بسبب عوامل التعرية المختلفة، ثم نقلت هذه المفتتات بواسطة عوامل النقل كالمياه الجارية أو الجليد أو الرياح إلى مناطق أخرى حيث تراكمت بعضها فوق بعض وكونت طبقات سميكة في القشرة الأرضية. ولما كانت كل طبقة أحدث تكويناً مما تحتها فقد حاول بعض العلماء تقدير عمر الأرض استناداً على حساب السمك الكلي للصخور الرسوبية وعلى أساس أن سرعة الترسيب في الوقت الحاضر والبالغ ١٥ سنتمتراً في كل عام قريبة من معدل سرعة الإرساب في الأزمنة الجيولوجية المختلفة، واشتقوا من هذه الحسابات أن عمر الأرض يبلغ حوالي ١٠٠ مليون سنة، وقدره البعض بألف مليون سنة، إلا أن هذه الطريقة لا يمكن الاعتماد عليها في تحديد عمر الأرض لأن سرعة الترسيب كانت مختلفة ومن المحتمل بأنها كانت أبطأ بكثير أو أسرع بكثير مما عليه الآن.

ثم قام العالم الفرنسي المشهور دي. بوفون De Buffon، صاحب نظرية مشهورة في تكوين الأرض في عام ١٧٧٩ م، بتقدير عمر الأرض وذلك عن طريق دراسة المدة التي استغرقتها الأرض عند تحولها من جسم غازي إلى كتلة صلبة، بحوالي ٧٥ الف سنة. وفي النصف الثاني من القرن التاسع عشر وعن طريق دراسة فقدان الأرض لحرارتها منذ نشوئها إلى الأن، قدر العالم الفيزيائي وليم طومسون عمر الأرض بحوالي ٤٠ مليون سنة. ثم تبعه عالم الطبيعة الفرنسي أراجو Arago بمحاولة أخرى عام ١٨٣٨م بحساب معدل التناقص في حرارة الأرض، إلا أن هذه المحاولات سرعان ما فقدت أساسها العلمي بعد أن اكتشفت العناصر المشعة وأثر تحللها في قياس الحرارة المنبثقة من باطن الأرض.

وفي أوائل القرن العشرين اكتشف الفيزيائيون وعلى رأسهم هنري بيكيرل (١٨٥٢ ـ ١٩٠٨) ومدام كوري (١٨٦٧ ـ ١٩٣٤) ظاهرة النشاط الإشعاعي Radioactivity لذرات العناصر المشعة، فالنشاط الإشعاعي هو عملية تآكل تلقائي لنواة ذرة غير مستقرة لينتج عنها نواة أخرى أكثر استقراراً وينتج عن هذه العملية انبعاث جسيمات مشحونة وإشعاعات جاما Gamma. ووجد العلماء بعد ذلك أنه يمكن بسهولة معرفة عمر الصخور التي تحتوي على معادن مشعة بهذه الطريقة، إذ وجدوا أن الصخور التي تحتوي على اليورانيوم تحتوي أيضاً على الرصاص الذي يتخلف في نهاية عملية اليورانيوم المشع، وذلك لأن ذرات اليورانيوم تتعرض للانفجار الذاتي المستمر لعدم استقرارها وتتحول إلى ذرات الرصاص البسيطة التركيب وغير المشعة، ويصاحب ذلك انطلاق طاقة إشعاعية كبيرة، فهذا معناه أنه كلما زادت كمية الرصاص في مجموعة من الصخور زاد عمر هذه المجموعة بالنسبة للمجموعات الأخرى التي يقل فيها الرصاص. ومن المعروف أن لكل مادة مشعة معدل تحلل خاص بها وتسمى بالعمر النصفي للحياة أي الفترة الزمنية اللازمة لتفتت نصف عدد الذرات من كمية معينة من المادة المشعة إلى مادة أخرى غير مشعة. ويعد معدل تحلل اليورانيوم إلى الرصاص بطيء جداً إذ أن عمر نصف الحياة **Half Life Time** لليورانيوم ٢٣٨

وللرصاص ٢٠٦ هو ٤,٥ بليون سنة، وبما أن الرصاص موجود الآن في بعض الصخور بجانب اليورانيوم فهذا معناه أن عمر تلك الصخور لا تقل عن ٤,٥ بليون سنة وكذلك عمر الأرض.

ووجد العلماء بعد ذلك أن نوعاً من البوتاسيوم يتحول إلى الكالسيوم وفي ظروف أخرى إلى غاز الأرجون. وقد أحدث هذا الاكتشاف اهتماماً كبيراً عند الجيولوجيين والجيوفيزيائيين وذلك لأن البوتاسيوم من العناصر المنتشرة بكثرة في صخور القشرة الأرضية وعلى أساسه يمكن تحديد عمر الصخور.

وقد استخدمت وسيلة النظائر المشعة، التي قامت على تقدير عمر الصخور القديمة، على صخور قديمة متعددة. وكان المعتقد أول الأمر أن أقدم الصخور هي التي وجدت في شبه جزيرة كولا ويرجع عمرها إلى ٣,٤ بليون سنة. ثم وجدت بعد ذلك قطعة من الجرانيت في منيسوتا في الولايات المتحدة يرجع عمرها إلى ٣,٥ بليون سنة. ثم أخيراً اكتشف الجيولوجي الأمريكي ستانلي هارت أن أقدم صخور الأرض هي صخور جزيرتي سان بيترز وسان باول في المحيط الأطلسي، وهما جزيرتان تنتميان جيولوجياً لحافة الأطلسي، وتقعان قرب الدائرة الاستوائية، وتمثلان ظاهرة فريدة على الأرض، إذ إنهما تتكونان من صخور البروديتيت Peroditite وهو صخر باطني داكن وثقيل، يرجع عمره إلى ٤,٥ بليون سنة. ويتفق هذا العمر مع ما توصل إليه العلماء ـ ومن بينهم كلير باترسون عام ١٩٥٦م ـ من دراسة عمر النيازك التي وجدت على سطح الأرض، على أساس أنها بقايا لشظايا كوكب تحطم بين مداري المريخ والمشتري، مع افتراض أنها نشأت هي والأرض في وقت واحد، ومع افتراض أن النيازك تتكون من نفس المواد الرئيسية التي تتكون منها القشرة الأرضية، فوجدوا أن أعمار النيازك قريبة من أعمار أقدم الصخور الموجودة على سطح الأرض أي حوالي ٤,٥ بليون سنة.

وفي الآونة الأخيرة حصل العلماء على عينات من الصخور الجرانيتية من شبه جزيرة كولسكي في الاتحاد السوفييتي ـ سابقاً ـ وعلى عمق ١٥ كم، وتم

تحديد عمرها فوجد بأن عمر هذه الصخور يبلغ حوالي ١٠٠ بليون سنة. ومما تجدر الإشارة إليه أن العلماء لم يتوقعوا هذا الرقم الخيالي الذي طوح بكل المعلومات السائدة عن عمر كوكب الأرض. وبصفة عامة، يعطي الباحثون لصخور نوايات القارات عمراً يتراوح متوسطه بين نصف بليون سنة و٢,٥ بليون سنة، وبديهياً فإن الأرض عمرها أقدم من تلك الصخور، إلا أنه قبل أن تستقر الصخور لا بد أن تكون القشرة قد مرت بمراحل طويلة حتى تكونت، ويقدر بأن هذه المراحل استغرقت حوالى ٢ بليون سنة حتى بردت قشرتها. وبناء على ذلك يعطي العلماء في الوقت الحالي تقديراً لعمر الأرض يتراوح بين ٤,٥ إلى ٦ بليون سنة منذ بداية ظهورها كجسم غازي يتجمع حول نفسه. وعلى الرغم من ذلك يمكن القول بأن عمر الأرض كبير لدرجة يستحيل معها تحديده.

التركيب الداخلي للأرض وخصائص سطحها:

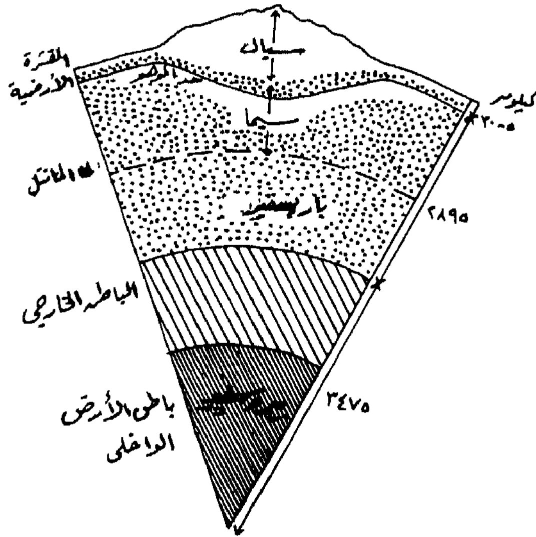
ظل الإنسان يجهل الكثير من المعلومات عن التركيب الداخلي للأرض وخصائصه الطبيعية واقتصرت هذه المعلومات على المشاهدات المباشرة في مواقع المناجم ومناطق الحفر وعمليات المجسات التي لم تصل إلا إلى أعماق بسيطة (حوالي ٦,٥ كيلومترات) من سطح الأرض. وللتمكن من معرفة الكثير عن تركيب وطبيعة باطن الأرض كان لا بد من استخدام بعض الأجهزة العلمية للاستطلاع بها عن الخصائص الطبيعية للباطن البعيد، ومن هذه الأجهزة أجهزة دراسة وقياس الموجات الزلزالية وأجهزة قياس الجاذبية. وكانت للنتائج والتفسيرات والمعلومات التفصيلية التي زودتنا بها هذه الأجهزة أثر كبير في إثراء معرفتنا عن التركيب الداخلي للأرض وخصائصه الطبيعية، وما لذلك من أثر في تفسير كثير من الظاهرات التضاريسية على سطح الأرض.

التركيب الداخلي للأرض:

أجمع معظم العلماء على تقسيم الكرة الأرضية إلى ثلاث طبقات داخلية رئيسية هي (شكل رقم: ٥ ـ ٢):

١ ـ القشرة الصلبة.
٢ ـ طبقة الوشاح أو الغطاء الداخلي (طبقة المانتل).
٣ ـ الطبقة الداخلية (باطن الأرض، جوف الأرض).

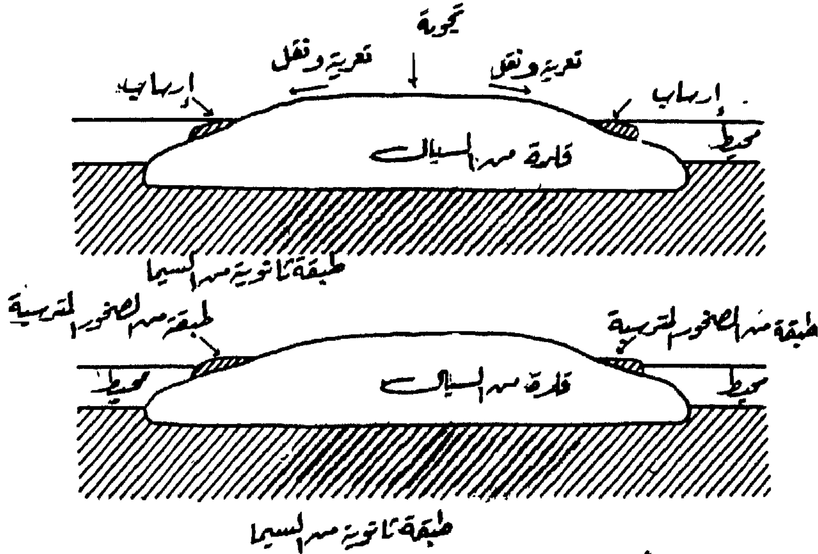
وتتكون القشرة الصلبة من طبقتين أساسيتين مختلفتين في المواد التي توجد في كل منها. ويبلغ متوسط سمكها تحت القارات نحو ٤٠ كيلو متراً (٢٥ ميلاً) بينما يبلغ متوسط سمكها تحت قاع المحيطات نحو ٥ كيلومترات (٣ أميال).



(شكل رقم: ٥ ـ ٢) مقطع في الكرة الأرضية يوضح طبقات قشرة وباطن الأرض.

وتعرف الطبقة الأولى بالقشرة الخارجية أو ما يعرف أحياناً باسم الغلاف الصخري Lithosphere (Gr. Litho=Stone) وهي تتكون من مواد جراتينية يتراوح ثقلها النوعي بين ٢,٦٥، ٢,٧٠ جرام/ سم^{٣} ويقدر سمكها من ٢ إلى ٣٠ كيلو متراً (١ ـ ١٨ ميلاً) ومعظم موادها تتكون من السيليكا Silica والألومنيوم Aluminium ولذلك فقد أطلق على هذه الطبقة اسم طبقة السيال SIAL (اختصاراً لكلمتي سيليكا وألومنيوم). ويلاحظ أن هذه الطبقة يزداد سمكها في

كل الجهات المرتفعة على سطح الأرض، في حين أنها رقيقة السمك خاصة على قيعان الأحواض البحرية والمحيطية بل تكاد تكون معدومة على قاع المحيط الهادي، والطبقة الثانية من القشرة الصلبة تقع مباشرة تحت طبقة السيال (شكل رقم: ٦ ـ ٢) وهي طبقة يعتقد أنها شبه سائلة وتتكون من صخور قاعدية أعظم كثافة، حيث تتركب من معادن ثقيلة معظمها من السيليكا والماغنيسوم Magnesium والحديد، ويطلق عليها العلماء اسم طبقة السيما SIMA (اختصاراً لكلمتي السيليكا والماغنسيوم)، أو طبقة المافيك Mafic، وتتراوح كثافتها من ٢,٩٠ جرام/ سم٣، ٣,٤٠ جرام/سم٣ وقد استدل العلماء على مواد هذه الطبقة من الطفوح البركانية البازلتية الكثيرة في أجزاء كثيرة من العالم وبصفة خاصة فوق قيعان الأحواض المحيطية (شكل رقم: ٦ـ٢). ومن الصعب تحديد عمق طبقة السيما بدقة، على الرغم من حدوث الزلازل على أعماق تبعد بنحو ٢٩٠٠ كيلو متر من سطح الأرض.



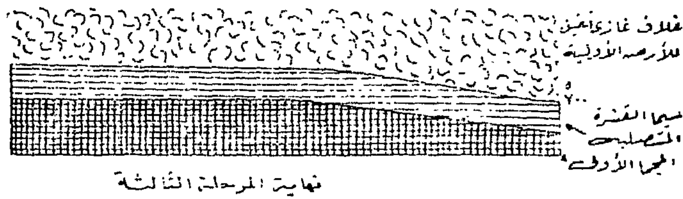
(شكل رقم: ٦ـ٢) تأثير العوامل الخارجية وفعل البحر على تعديل وتغيير شكل طبقة السيال وتكون الصخور الرسوبية.

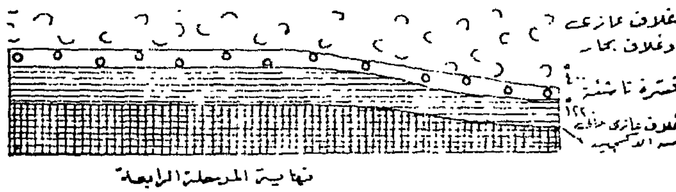
ورغم اختلاف آراء العلماء في كيفية نشأة كوكب الأرض، فإنهم يجمعون

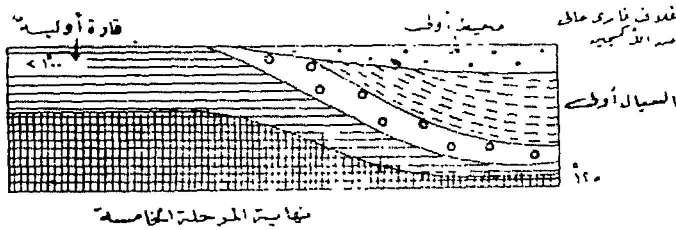
على أن الأرض بعد أن أصبحت جسماً كونياً مستقلاً، ظلت فترة طويلة في حالة توهج، أو ارتفعت حرارتها من البرودة إلى السخونة الشديدة حتى التوهج. وحسب رأي كون وريتمان (Kohn & Rittman, 1941) مرت الأرض بست مراحل رئيسية حتى تكونت القشرة الصلبة الخارجية. (شكل رقم: ٧ ـ ٢). والمرحلة الأولى ويطلق عليها اسم الزمن النجمي للأرض، ويعتقد بأنه كان للأرض ضوءاً ذاتياً مثل ضوء النجوم وتقدر تلك الفترة بعدة ملايين من السنين. وتبدأ المرحلة الثانية بتكثف الغازات التي كانت تنطلق من جسم الأرض نتيجة البرودة أثناء دورانها في الفضاء الأمر الذي أدى إلى وجود فروق في تكاثف موادها حسب وزنها النوعي. فاستقرت المادة الثقيلة في عمقها، وهذه مهدت لنشأة أغلفة الأرض، ومع استمرار فقدانها للحرارة تكثفت الطبقة الغازية العليا إلى حالة سائلة، ثم إلى حالة أكثر ثقلاً من السيولة، أي إلى حالة اللافا، وفي المحيط الخارجي تكون الغلاف الغازي الأول، الذي ربما كان أكثر سمكاً من الغلاف الحالي، وذلك على اعتبار أنه كان لا يزال يحتوي على معادن في حالة غازية، ثم تبع ذلك أن اتحدت تلك العناصر مع بعضها كيميائياً. كما اشتمل الغلاف على الماء في حالة بخار. ومع توالي انخفاض الحرارة، ظهرت المواد المعدنية، وتحركت العناصر الثقيلة مثل الحديد والنيكل نحو العمق، بينما تحركت العناصر الخفيفة نحو الوشاح (المانتل) الخارجي. وبذلك نشأت الأغلفة الثلاث بكثافات مختلفة: صهير السيلكات في الوشاح (المانتل) الخارجي، يليه صهير السلكات والبيريت في الوسط، ثم صهير الحديد في النواة. وفي هذه الأغلفة تجمعت عناصر معينة تلائم بناء الأغلفة التي نشأت في تلك الفترة.

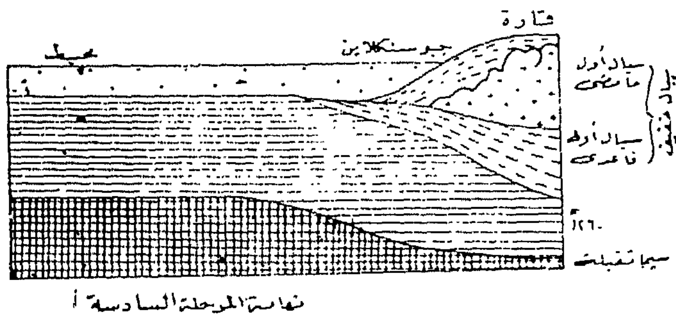
وقد أعاق الغلاف الغازي ـ بما فيه من بخار ـ سرعة البرودة لرداءة توصيله للحرارة. ولكن عندما قاربت درجة الحرارة من الألف درجة مئوية ظهر على سطح الأرض نوع من التصلب. فتكونت للأرض قشرة متصلبة رقيقة، تعرضت للتكسر بسبب حركة مد وجزر الباطن المنصهر، وبسبب ضغط اللافا من أسفلها، كما أن كتل اللافا كانت تندفع من أسفل، وتدفع القشرة المكسرة

الطافية فوقها جانباً بل وتسحبها إلى الباطن المنصهر، مما يؤدي إلى إعادة انصهارها. وظلت هذه المرحلة فترة إلى أن بردت الأرض إلى الحد الذي سمح









(شكل رقم: ٧ ـ ٢) مراحل نشأة القشرة لكون وريتمان

باستمرار تصلب القشرة العليا تدريجياً، واستقرارها كغطاء يحيط بالأرض. وقد ساعد على تماسكها كميات من اللافا صبت فوقها، كما أن اللافات تكدست باتساع أدنى القشرة المتكونة من أسفلها مما زاد من صلابتها. ويقدر كون وريتمان سمك تلك الطبقة بحوالي ١٠ كيلومتر كما أطلق عليها اسم المجما الأولية Urmagme، وبذلك انتهت المرحلة الثانية.

أما المرحلة الثالثة فكان لا يزال يحيط بالأرض غلاف غازي ثقيل يحتوي على نسبة عالية من بخار الماء بالإضافة إلى نسبة من المعادن في حالة تحلل مثل الكواتز، والفلسبات، وهذه المعادن انعزلت من الغلاف الغازي عندما بردت الأرض بما فيه الكفاية. وتكدست كتلة جرانتيه فوق القشرة السابقة، بالإضافة إلى ما اندفع في ثناياها من صخور بركانية.

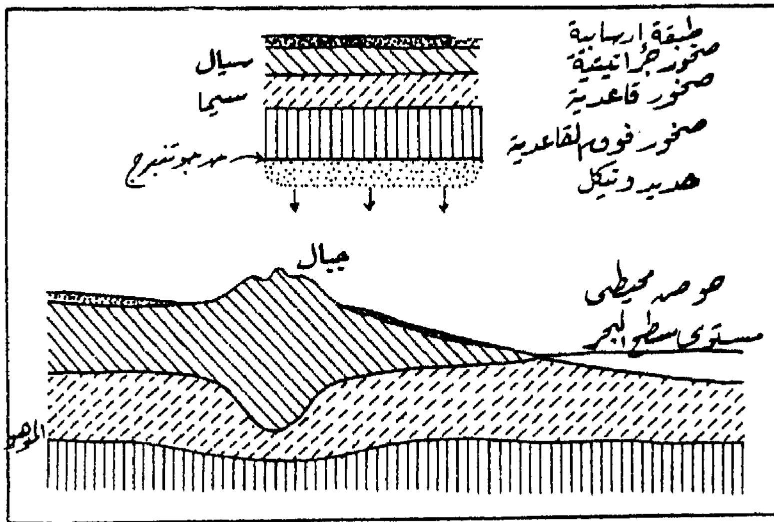
وتبدأ المرحلة الرابعة بقشرة مزدوجة تغلف كل جسم الأرض، كما أصبح الغلاف الغازي أقل وزناً بعد انفصال المعادن عنه، إلا أنه كان يحتوي كل ماء الأرض، إذ أن الحرارة كانت لا تقل عن ٤٠٠ م، وكان تشكيل السطح يماثل سطح القمر حالياً، إلا أن استمرار الحركات الباطنية والتعرية السطحية الكيميائية من الغلاف الغازي أدى إلى تغير ذلك الشكل. كما فقد الغلاف الغازي بخار الماء مع البرودة، مما قلل من وزن ذلك الغلاف، إلا أنه في المرحلة الخامسة تبخرت المياه مرة أخرى ثم عادت إلى التساقط، وتجمعت ككتل مائية ساخنة في انخفاضات الأرض التي شكلت المحيطات في تلك المرحلة، وقد أدى سقوط المطر إلى تعرية القشرة القائمة آنذاك، وقد أطلق عليها كون وريتمان اسم السيال الأولية Protosial ومن تلك التكوينات التي نشأت عنها القشرة السطحية تكدست نويات القارات القديمة، بينما زاد عمق أجزاء من القشرة تجمعت فيها المياه ونشأت بالتالي المحيطات الأولى وبذلك انتهت المرحلة السادسة.

ويجمع العلماء على أن القشرة الصلبة التي تكونت بعد انتهاء العصر النجمي للأرض لم تستمر على حالها، بل تعرضت للتغير والتبديل سواء في

مكوناتها أو في تشكيلها. ولم تحافظ على الشكل المنتظم الذي يحيط بالأرض. كما أصاب التبديل كل من الغلاف الغازي والغلاف المائي، الذين قد أحاطا بالأرض على هيئة طبقات رقيقة. وبقدر ما أضيف إلى الأرض بعد نشأتها من مواد كونية أخرى، يرجع عمرها إلى ملايين السنين من عمر الأرض نفسها، فإن القشرة نفسها قد فقدت من أجزائها قدراً كبيراً، كما فقدت جزءً كبير من غلافيها الغازي والمائي. وكان في مقدمة ما فقدته من غازات الهيدروجين والغازات الثقيلة الأخرى.

ويعتقد معظم الجيولوجيين حالياً، وفي مقدمتهم الأستاذ هيس (Hess, 1962) بأن الأرض بعد إتمام تكون قشرتها - تعرضت إلى ما أطلقوا عليه «بالكارثة العظمى The Great Catastrophe». ويقصدون بذلك اضطراباً أصاب الأرض في قشرتها على نطاق واسع نتج عنه خصائص الأرض غير المنتظمة من ناحيتين: ما بين أجزاء هابطة في قشرتها، وأخرى مرتفعة وانبعاج في وسطها، ثم انعزال النواة عن الوشاح (المانتل). بل قد ترتب على تلك الكارثة آثار لا تزال تؤثر في قشرة الأرض حتى الآن. ويعتقد هيس أن الأحواض المحيطية قد نشأت في تلك الفترة التي أصابت فيها الكارثة قشرة الأرض، بالإضافة إلى أنها كشفت عن أجزاء من القشرة واقترب سطح من الوشاح (المانتل) الذي احتجز قدراً هائلاً من العناصر الغازية والمياه. وقد تلى فترة الكارثة تعويض منه إلى السطح سواء في مادة القشرة الأرضية أو المياه أو في الغازات. ففيما يخص تعويض القشرة، فيقدر الجيولوجيون بأن الأرض تأخذ مادتها من طبقة الوشاح في شكل مواد بركانية بمعدل ١ كيلومتر مكعب سنوياً، وبحساب نفس الكمية على طول عمر القشرة (٤ بليون سنة) يكون قد وصل إليها ٤ × ١٠^{٩} كم^{٣}، أي ما يعادل ٥٠٪ من القارات، وعلى اعتبار أن القارات مع الأجزاء التابعة لها تحت سطح الماء مثل الرفارف والانحدارات البحرية حتى عمق ١٠٠٠ متر يوازي ٤٠٪ من سطح القشرة، فإن نسبة سطح قاع المحيط بالتالي هي ٦٠٪. فالمحيط إذن قد نشأ قاعه من تلك المواد التي حملت من طبقة الوشاح

(المانتل). وبالإضافة إلى تلك المواد البركانية أعطت طبقة الوشاح (المانتل) للسطح المواد الجديدة، مثل المياه الجديدة Volatile Water والغازات الجديدة مع الصخور التي خرجت منه لتكون أعماق قاع المحيط، والتي تحتوي على ٢٥٪ من حجمها ماء. ويقدر هيس الماء الذي يأتي سنوياً من باطن الأرض بنحو ٤,٠ كم٣. ومع افتراض أن تدفق المياه الجديدة كان يتم بانتظام طوال عمر القشرة، فإن كمية المياه تساوي ١,٦ × ١٠⁹ كم٣، وباستبعاد كمية الماء التي لا تزال في طبقة الوشاح (المانتل) في أسفل قشرة المحيط والتي قدرها هيس بنحو ٠,٣ × ١٠⁹ كم٣، يكون قد وصل إلى سطح الأرض ١,٣×١٠⁹ كم٣ وهو ما يوازي حجم مياه المحيط حالياً.

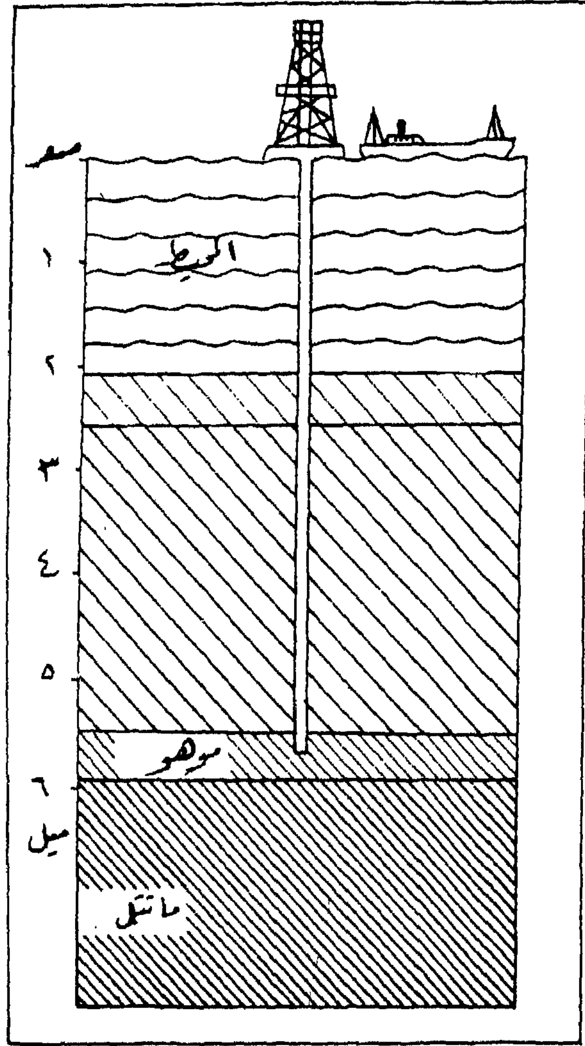


(شكل رقم: ٨ ـ ٢) قطاع عند هامش منطقة قارية، لاحظ حد الموهو وحد جوتنبرج

ويوجد بين أسفل طبقة القشرة الصلبة Crust وأعلى طبقة الوشاح أو الغطاء الداخلي Mantle التي تعرف أحياناً باسم طبقية الباريسفير (Gr. Baros) Barysphere (Baros=weight) Weight سطح انفصال جيولوجي يطلق عليه اسم

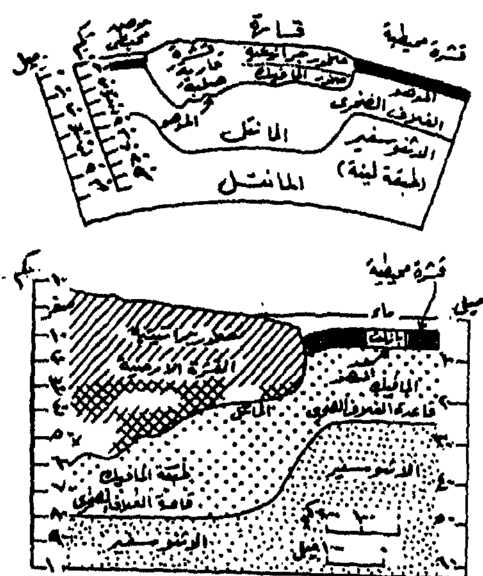
«حد الموهو» أو الحد الموهوروفيش Mohorovicio Discotinuity (سمي كذلك تبعاً لاسم عالم الزلازل اليوغسلافي موهورفيشك الذي اكتشف هذا الفاصل الجيولوجي الهام عام ١٩٠٩). وتبلغ سرعة الموجات الزلزالية عند هذا الحد ٨،١ كيلو متر/ ثانية، في حين تقل سرعة الموجات الزلزالية فوق أعالي هذا الحد (حوالي ٥ كيلو متر/ثانية وتزداد عن ذلك إلى أسفل منه). وللتأكد من خصائص هذا الفاصل الجيولوجي فقد وضع برنامجاً أمريكياً لحفر آبار استطلاعية في المناطق المحيطية تصل إلى حد الموهو وطبقة المانتل عرف باسم Mohol Project، وتم الحفر في المنطقة أمام الساحل المكسيكي بالقرب من جزيرة جوادالوب Guaddlupe في سنة ١٩٦٢، وفي المنطقة أمام هونولولو بحوالي ٢٧٠ كيلو متر (١٧٠ ميلاً) بجزر هواي عام ١٩٦٦. وقد أتت نتائج العينات التي جمعت من هذين الموقعين بمعلومات قيمة عن تاريخ الأرض الجيولوجي، ولكن نظراً للتكلفة الهائلة لهذا المشروع فقد صرف النظر عنه. وتتصف صخور طبقة المانتل بأنها أعظم كثافة وثقلاً من تلك التي تتمثل في القشرة الخارجية الصلبة تتراوح كثافة المواد التي تتألف منها المانتل من ٣,٠ إلى ٣,٣ جرام/ سم^3 ومن ثم فهي تتركب من مواد معدنية ثقيلة من أهمها معادن الأوليفية التي تتخذ شكل صخور فوق القاعدة Ultrabasic في حالة تصلب عالية يطلق عليها اسم Dunite أو الصخور البركانية الصوانية (البيريويدتيت Periodtite)، ويبلغ متوسط سمك طبقة المانتل حوالي ٢٨٩٥ كيلو متراً (١٨٠٠ ميلاً) ويطلق على القسم الأعلى من طبقة المانتل والذي يقع أسفل القشرة الصلبة للأرض مباشرة اسم طبقة الاثنوسفير Athenosphere وتتكون من صخور لينة نسبياً تبلغ كثافتها نحو ٤,٠ جرام/ سم^3 وتقع هذه الطبقة أسفل سطح الأرض بعمق يصل متوسطه تحت القارات بنحو ٨٠ كيلو متراً (٥٠ ميلاً) وتحت قاع المحيطات بنحو ٤٠ كيلو متراً (٢٥ ميلاً) ولا يزيد سمكها عن ٣٠٠ كيلو متراً (١٨٠ ميلاً).

ولقد دلت دراسة الموجات الزلزالية خلال هذا القسم من طبقة من المانتل



(شكل رقم: ٩ـ ٢) شكل توضيحي لكيفية الوصول إلى حد الموهو في برنامج Mohole .

أن صخورها في حالة سائلة أو شبه سائلة (أي تتصف بصفات المواد المرنة Plastic Substence) وبصفة خاصة في طبقة رقيقة يبلغ سمكها ١٠٠ كيلو متراً في المنطقة بين ١٠٠ إلى ٢٠٠ كيلو متراً (٦٢ ـ ١٢٥ ميلاً) أسفل السطح العلوي لطبقة المانتل. ويعزى ذلك إلى زيادة الضغط وارتفاع درجة الحرارة ارتفاعاً شديداً يصل إلى الدرجة التي ينصهر عندها كثير من معادن الصخور التي تتكون منها. ويعرف القسم الأسفل من طبقة المانتل باسم الطبقة الغطاء الداخلي الوسطي Mesosphere (شكل رقم: ١٠ ـ ٢).



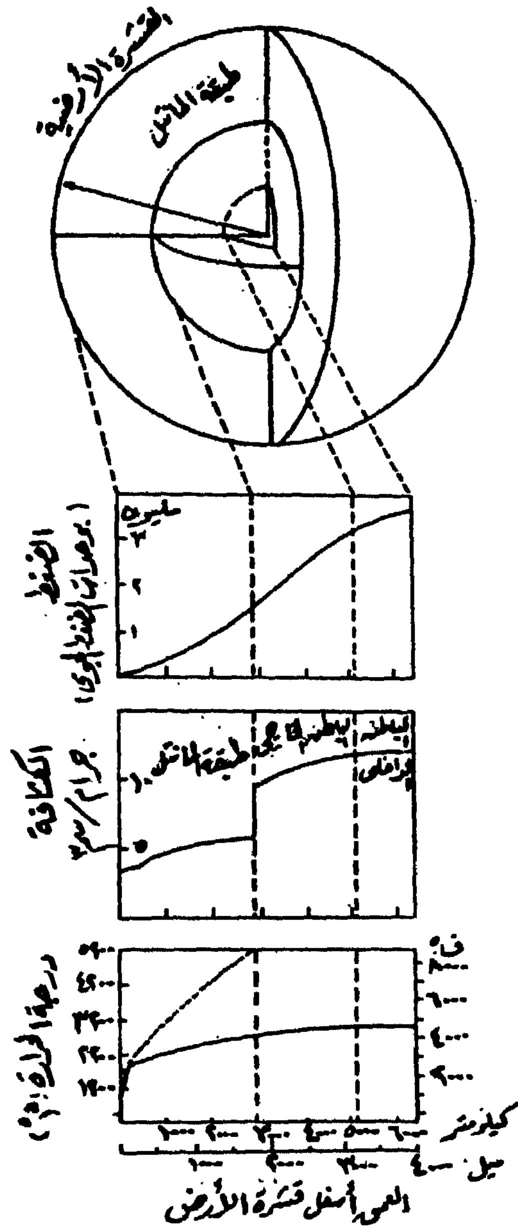
(شكل رقم: ١٠ـ٢)طبقات القشرة الأرضية وعلاقتها بطبقة المانتل العليا (طبقة الأثنوسفير).

ويفصل أسفل طبقة المانتل عن أعالي طبقة جوف الأرض Core أو الطبقة الداخلية المركزية Centrosphere سطح إنفصال يطلق عليه اسم حد جوتنبرج Gutenberg Discontinuity وتقدر درجة الحرارة عند هذا الحد بنحو ٣٧٠٠ مئوية (٦٦٩٢ فهرنهيتية). ويتألف جوف الأرض الذي يبلغ سمكه ٣٤٧٥ كيلو متراً (٢١٦٠ ميلاً) من مواد أعظم كثافة وثقلاً من تلك التي تتركب من الطبقات

الأخرى للأرض، ولذا فانها تعرف أحياناً باسم طبقة البيروسفير (Pyrosphere) وتتكون عادة من النيكل والحديد، وقد سماها العلماء طبقة النايف Nife (اختصاراً لكلمتي النيكل Niekel والحديد Iron\ Ferri Ferous). وتتراوح كثافة صخور جوف الأرض بين ١٠,١٥ جرام/ سم٣، نظراً لارتفاع درجة الحرارة ارتفاعاً شديداً في هذه الطبقة والتي تصل إلى ٢٧٥٠ درجة مئوية (٥٠٠٠ درجة فهرنهيتية) أو أكثر، وزيادة الضغط الواقع على موادها والذي يبلغ نحو ٣،٨٨ × ١٠٦ كيلو جرام/ سم٢ (أو نحو ٢٤٥٠٠ طن على البوصة المربعة)، أو ما يوازي ٤١٦٣٤٥٠ وحدة ضغط جوي عند سطح البحر. ويطلق على القسم الأعلى من جوف الأرض اسم طبقة الباطن الخارجي Outer Core. ويعتقد العلماء أن هذا القسم يكون طبقة سائلة تماماً. ويبلغ متوسط كثافتها بنحو ١٠,٥ جرام/ سم٣ وسمكها نحو ٢٢٢٠ (٣٥٥٢ ميلاً). في حين يعرف القسم الأسفل من طبقة جوف الأرض باسم طبقة باطن الأرض الداخلي Inner Corel. وقد أثبتت الدراسات التفصيلية للموجات الزلزالية في السنوات القليلة الماضية أن طبقة الباطن الداخلي تتكون أساساً من مواد صلبة أو بلورية وتتراوح كثافة المواد التي تتألف منها من ١٦ إلى ١٧ جرام/ سم٣ ومن ثم فهي تتركب من مواد معدنية غاية في الثقل ويبلغ سمكها نحو ١٢٢٥ كيلو متراً (٧٨٠ ميلاً).

والمعلومات عن طبيعة جوف الأرض بقسميه (الخارجي والداخلي) معلومات غير مباشرة توصلنا إليها عن طريق الحدس والاستنباط والاستنتاج وذلك لأن عمليات الحفر المختلفة مهما بلغت من عمق لا تصل إلى هذا الباطن البعيد عنا. وفيما يلي عرض موجز لأهم الحقائق عن جوف الأرض. (شكل رقم: ١١ ـ٢).

١ ـ **جوف الأرض ذو حرارة مرتفعة جداً:** ومما يؤكد ذلك البراكين التي تخرج منها الحمم والغازات الشديدة الحرارة إذ تبلغ درجة حرارة اللافا المنصهرة والمنبثقة من جوف الأرض إلى نحو ١٢٠٠ درجة مئوية، والينابيع والعيون الحارة التي تتدفق المياه الساخنة منها والتي تصل درجة الحرارة تزيد كلما تعمقنا في المناجم والآبار العميقة درجة مئوية واحدة كلما تعمقنا ٣٢ متراً



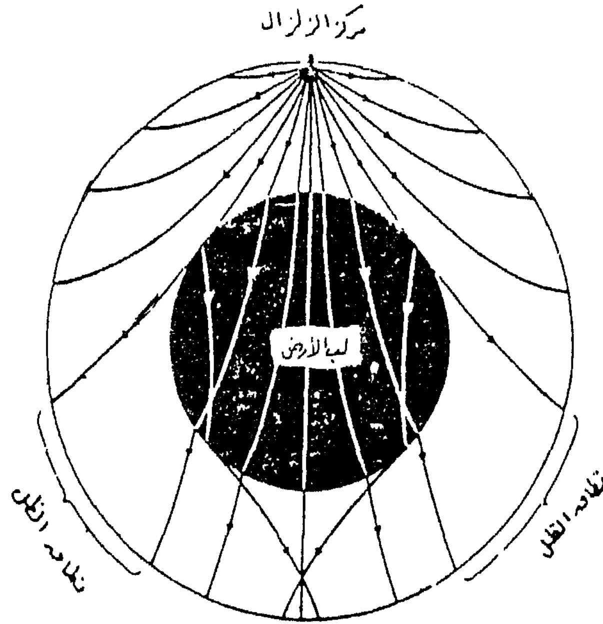
(شكل رقم : ١١ـ٢)
طبقات الكرة الأرضية وعلاقتها بالضغط والكثافة ودرجة الحرارة الباطنية .

(درجة فهرنهيتية لكل ٣٠ قدماً). ولو أطردت هذه الزيادة فأن درجة الحرارة ستصل إلى ١٥٠٠ درجة مئوية على بعد نحو ٢٩ كيلومتراً (١٨ ميلاً) من سطح الأرض، وهي درجة تكفي لصهر أي من الصخور المعروفة لنا. وقد تبين ذلك من الدراسات التي أجريت في بئر كارنارفون Carnarvon في جنوب افريقية وبئر لونج بيتش Long Beach بكالفورنيا ويعد تعليل شدة حرارة جوف الأرض من أعظم مشاكل العلم الحديث والمعاصر. فيقول هؤلاء الذين يعتقدون أن الأرض كانت في بادىء الأمر كتلة من الغاز الملتهب، أن المصدر الأصلي لتلك الحرارة هو الشمس. أما إذا كانت الأرض قد نشأت ككوكب صغير بارد أو كتلة من الصخر، فكيف إذن تم اكتسابها لتلك الحرارة التي تتميز بها؟ ويبدو أن جزءاً من الإجابة على هذا التساؤل ينحصر في أنه بينما كان حجم الأرض يزداد كبراً، كانت موادها تتصادم ويحتك بعضها مع البعض الآخر وكان الضغط كذلك يزداد تجاه مركز الأرض كما ازدادت كمية المادة التي تضغط إلى أسفل بسبب قوة الجاذبية فكانت النتيجة أن رفع هذا الضغط العظيم درجة حرارة صخور جوف الأرض. هذا وقد اكتشف العلماء كذلك أن بعض الشهب تحتوي على آثار عناصر مشعة تنبعث منها حرارة باستمرار. ولذلك اعتقد أنه عندما تجمعت فوق الأرض كميات كبيرة من المادة التي تشتمل على عناصر مشعة فأن قدراً كبيراً من الحرارة تسرب إلى باطن الأرض. ونتيجة لهذه الحقائق يعتقد العلماء الأن أن الأرض لا تزداد حجماً فحسب وإنما تزداد حرارة كذلك.

٢ ـ جوف الأرض جسم صلب وليس سائلاً على الرغم من شدة حرارته.
وهناك من الأدلة ما يؤيد ذلك، منها: أن القشرة الصلبة للأرض لا تتأثر بالمد، ولو كان جوف الأرض سائلاً لتأثرت هذه القشرة بالمد وتعرضت بذلك للتكسير والتهشم، كذلك لو كان جوف الأرض سائلاً لصعب على الموجات الزلزالية التي تصل إليها بعد أن تخترق جوف الأرض وقد ثبت أن هذه الموجات أكثر سرعة من الموجات الزلزالية السطحية (شكل رقم: ١٢ ـ ٢). كما ثبت أيضاً أنه لو كان جوف الأرض سائلاً لما استطاعت الأرض أن تدور أو تحافظ على

توازنها. ولقد كان للضغط الهائل الذي يتعرض له جوف الأرض والذي يبلغ كما ذكرنا ٢٤٥٠٠ طن على البوصة المربعة أو نحو ٣,٥ مليون طن على القدم المربع وهو ضغط يكفي لأن يظل الصخر الجوفي في حالة صلبة.

٣ ـ كثافة الصخور جوف الأرض أعظم كثافة من كثافة صخور القشرة الصلبة. لقد تبين من مختلف الأبحاث والدراسات الطبيعية أن متوسط كثافة المواد المكونة للكرة الأرضية بصفة عامة يبلغ ٥,٥٢ جرام/سم^{٣}. أما كثافة الصخور التي تتركب منها القشرة الصلبة السطحية وهي غالباً صخور جرانيتية فتبلغ ٢,٧ جراسم/سم^{٣}، أي أقل من نصف متوسط كثافة الكرة الأرضية ككل. ولهذا فمن المحتم أن يكون جوف الأرض مكوناً من مواد أكثر كثافة من الصخور التي نعرفها. ومن ثم يعتقد أن النواة التي تحتل جوف الأرض والتي يبلغ قطرها ٦٩٥٠ كيلو متراً (٤٣٢٠ ميلاً) تتكون من مواد معدنية ثقيلة أغلبها من الحديد والنيكل وهي التي يقدر العلماء متوسط كثافتها بين ٨ ـ ١١ جرام/سم^{٣}. وقد ساعدت عملية دوران الأرض حول محورها واستمرار برودتها التدريجية على الترتيب السابق لكثافة المواد التي تتألف منها وتنظيم نطاقاتها المتتابعة داخل الأرض، فأكثر موادها كثافة وأثقلها وزناً يوجد حول المركز وأقلها كثافة وأخفها وزناً قرب السطح. ولهذا يعتقد العلماء أن الأرض قد مرت في المرحلة الأولى من نشأتها بفترة كانت فيها في حالة غازية ثم أخذت تتحول إلى الحالة السائلة أو المنصهرة نتيجة برودتها التدريجية. وفي أثناء المرحلة الأخيرة فأنه يقال أن الجاذبية قد أدت إلى أن تترسب المواد الثقيلة في الأجزاء الداخلية عند المركز (النواة) نتيجة ثقلها، تليها صوب السطح المواد الخفيفة. وهكذا نشأت النطاقات الصخرية حول النواة العظيمة في كثافتها. وقد أجريت عدة تجارب خاصة لتفسير هذا التصنيف الطبقي من حيث الوزن والكثافة، فقد أتى أحد العلماء بقطعة من الحديد الخام وصهرها، فلاحظ أن أول جزء انصهر منها هو سطحها الخارجي. وبينما ظل الجزء المركزي (يمثل النواة) صلباً لوقت ما، ثم أخذت المواد الخفيفة في قطعة الحديد تطفو على السطح. وفي نهاية



(شكل رقم: ١٢ ـ٢) الموجات الزلزالية واختراقها لباطن الأرض ـ لاحظ مناطق الظل على سطح الأرض، وهي المناطق التي لا تصلها الموجات بسبب انكسار هذه الموجات بعد اختراقها لباطن الأرض.

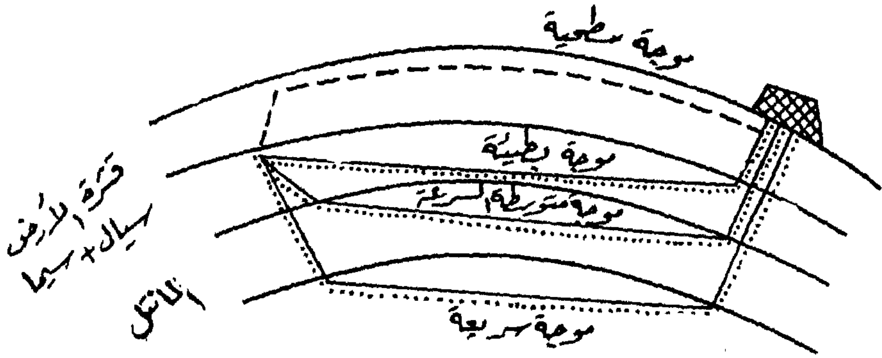
التجربة كانت قد تكونت ثلاث طبقات: طبقة سطحية انصهرت ثم بردت نتيجة تعرضها للجو، تليها طبقة شبه سائلة أو نصف صلبة تقع أسفلها طبقة صلبة لم تنصهر وظلت تحتفظ بمعظم مكوناتها من الحديد. واعتقد هذا العالم أن هذا التصنيف يلقي الضوء على تركيب الأرض الذي يحتمل أن يكون قد تم بنفس النظام.

وقد سبق أن ذكرنا أن جوف الأرض (النواة) بقسميها الداخلي والخارجي يتألف من مواد تتركب من معدني الحديد والنيكل وأن العلماء يطلقون على هذه

الطبقة اسم نايف Nife اختصاراً (لكلمتي النيكل والحديد) أو البيروسفير Pyrosphere . ومما يؤيد ذلك الشواهد الآتية: وجد أن الثقل النوعي لمعدني الحديد والنيكل قريب من ٨ جرام/ سم^{٣} وهو مقدار متوسط الثقل النوعي لجوف الأرض. وظهر كذلك أن كل النيازك والشهب التي تسقط على سطح الأرض والتي يقدر ما تلتقطه الأرض منها يومياً بفعل جاذبيتها بحوالي ٩٠ مليوناً تتراوح أحجامها بالتدريج من حصى صغيرة إلى كتل ضخمة من المادة يصل وزنها إلى بضعة آلاف من الأطنان، يتكون معظمها من الحديد والنيكل وبعض المواد الأخرى. ويعتقد الأن أن كل الأجرام السماوية داخل مجرتنا أصلها واحد أي أن الشهب والنيازك التي تسقط على سطح الأرض تتكون من نفس المواد التي يتكون منها كوكب الأرض وغيره من كواكب المجموعة الشمسية.

وقد تمكن العلماء أيضاً من تعليل ترتيب الكثافة داخل الأرض تبعاً للنظام السابق ذكره عن طريق دراسة الموجات الزلزالية. فقد تبين أن الموجات الزلزالية التي تخترق باطن الأرض وتسجلها أجهزة رصد الزلازل في المراصد التي تقع على أبعاد متباينة من مركز الزلزال تظهر اختلافات واضحة في طبيعة المواد، من حيث الكثافة والوزن، والتي تتركب منها النطاقات الصخرية التي تخترقها (شكل رقم: ١٣ ـ ٢) ومن أهم النتائج التي أمكن الحصول عليها من مختلف الأبحاث والتجارب الخاصة بدراسة الزلازل وموجاتها في المراصد المختلفة أن الموجات الزلزالية تصل إلى المرصد على ثلاثة أنواع: الموجة الأولى تخرج من مركز الزلزال إلى المرصد مباشرة في شكل خط مستقيم، بينما الموجة الثانية تخرج من مركز الزلزال وتنحني مع القشرة الأرضية حتى تصل إلى المرصد، أما الموجة الثالثة فأنها تخترق باطن الأرض قبل أن تصل إلى المرصد وتتخذ مساراً ليس في صورة الخط المستقيم تماماً أو الشكل المنحني تماماً. ووجد كذلك أن الموجات الزلزالية التي تصل إلى المرصد عن طريق القشرة الأرضية تصل سرعتها ٢,٩ كيلو متراً/ ثانية (١،٨ ميل/ ثانية)، بينما الموجة التي تخترق الباطن تصل سرعتها حوالي ١٠ كيلو متر/ ثانية (٦,٥ ميل / ثانية).

وقد ثبت أن الموجات الزلزالية تخترق المواد الصلبة العظيمة الكثافة بسرعة أكبر من مثيلتها التي تخترق الأجسام الأقل صلابة وكثافة وقد استدل من ذلك على أن المواد الداخلية التي تخترقها الموجات مواد صلبة عظيمة الكثافة، كما أن اختلاف سرعة الموجات يدل على اختلاف كثافة الطبقات المختلفة التي يتركب منها باطن الأرض. إذاً فمن كل مما سبق يتبين لنا أن الصخور التي نعرفها على سطح الأرض تحتل في الواقع قشرة رقيقة نوعاً ترتكز على طبقة من الصخور أكثر منها كثافة وثقلاً.



(شكل رقم: ١٣ ـ ٢) التركيب الصخري لباطن الأرض وسرعة الموجات الزلزالية.

سمات وخصائص سطح الأرض:

قلنا أنه بعدما انفصلت الكتلة التي تكون منها كوكب الأرض واتخذت لها مدار حول الشمس كبقية أفراد المجموعة الشمسية، أخذت في البرودة التدريجية مكونة الجسم (الغلاف) اليابس لها (Lithosphere)، وسرعان ما أخذت أحوال الحرارة والغلاف المائي الموجود على سطح الأرض (Gr. Hydro = Water Hydrosphere) بينما بقيت بعض الغازات حول الأرض

مكونة الغلاف الجوي المعروف Atmosphere (Atoms= Vapour) وقد أدى تفاعل الأغلفة الثلاثة بعدئذ عن وجود غلاف آخر وهو الغلاف الحيوي Biospere متمثلاً في الكائنات الحية: النباتية والحيوانية (بما فيها الإنسان). وقبل الحديث عن خصائص (معالم) سطح الأرض، يحسن إعطاء فكرة موجزة عن أغلفة الكرة الأرضية أو نطاقاتها الرئيسية غير الغلاف الصخري وجود الأرض فقد سبق شرح طبيعتها وخصائصها.

١ ـ الغلاف الجوي The Atosphere: وهو عبارة عن الغلاف الغازي الذي يحيط بالكرة الأرضية، وهو أعظم سمكاً من الأغلفة الأخرى إذ يبلغ متوسط سمكه نحو ٣٢٠ كيلو متراً (٢٠٠ ميلاً). وكما ذكرنا تكون الغلاف الجوي يفصل الغازات حول كوكب الأرض أثناء عملية برودته التدريجية. وتتألف هذه الغازات أساساً من النيتروجين والأكسجين حيث تبلغ نسبتيهما بالغلاف الجوي حوالي ٩٩٪ من جملة الغازات الممثلة فيه. كما يحتوي على كميات صغيرة من بخار الماء وثاني أكسيد الكربون وبعض الغازات الخاملة مثل غاز الأرجون. وعلى الرغم من صغر نسبة بقية الغازات الأخرى إلا أن لها أثراً كبيراً في تشكيل طبيعة الاضطرابات التي تحدث في طبقات الغلاف الجوي. ولغازات الغلاف الجوي بالإضافة إلى عناصر المناخ من حرارة ورياح وأمطار وثلوج وغيرها مما يدخل في نطاق هذا الغلاف أهمية خاصة من حيث أنها تعد مجتمعة، من أهم العوامل التي تؤثر، كيميائياً وميكانيكاً في تشكيل مظهر سطح الأرض.

٢ ـ الغلاف المائي The Hydrosphere: تدخل في نطاق هذا الغلاف كل أنواع المياه الموجودة على سطح الأرض (محيطات، بحار، بحيرات، أنهار) وكذلك المياه الموجودة تحت سطح الأرض (المياه الأرضية أو الجوفية) ويغطي هذا الغلاف نحو ثلاثة أرباع مساحة سطح الأرض تقريباً. ولكي نتصور كمية المياه التي يحتوي عليها هذا الغلاف فإنها إذا وزعت بالتساوي على سطح الأرض لكونت مسطحاً مائياً كبيراً عمقه حوالي ٣٠٠٠ متر (٩٠٠٠ قدم)، وعلى الرغم من عظم مساحة المسطحات المائية هذا إلا أن حجمها لا يزيد عن

١/ ٤٩٥٠ من حجم الأرض، ويعتبر فعل المياه المباشر وغير المباشر عموماً، من أهم العوامل التي تؤثر في تشكيل المظهر التضاريسي لسطح الأرض، ويتمثل العمل الذي تقوم به الأمواج والبحيرات والمياه في نقل المفتتات الصخرية وأرسابها على شكل ظاهرات جديدة في أمكان أخرى أو بعبارة أخرى تقوم العوامل المائية بفعل الهدم (النحت) والنقل والبناء (الأرساب).

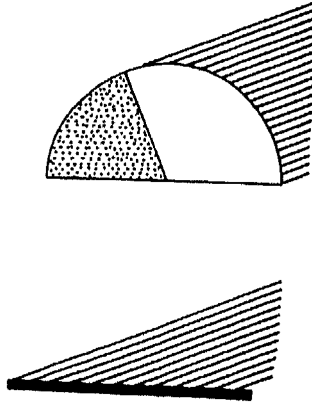
٣ ـ الغلاف الحيوي Biosphere: يشير كثير من العلماء إلى نوع آخر من أغلفة الكرة الأرضية هو في الواقع يدخل في نطاق الأغلفة السابق ذكرها، وهو ما يسمى بالغلاف الحيوي. ويتضمن هذا الغلاف كل أنواع الحياة من النباتات والحيوانات التي تعيش في الجو والمياه بأنواعها وعلى سطح الأرض.

وبعد إلقاء الضوء على الأغلفة الرئيسية للكرة الأرضية، نعود إلى التعرف على خصائص الأرض بصفة عامة من حيث الشكل والأبعاد والحجم والكتلة، وسمات قشرة الأرض من حيث توازنها وتوزيع القارات والمحيطات عليها.

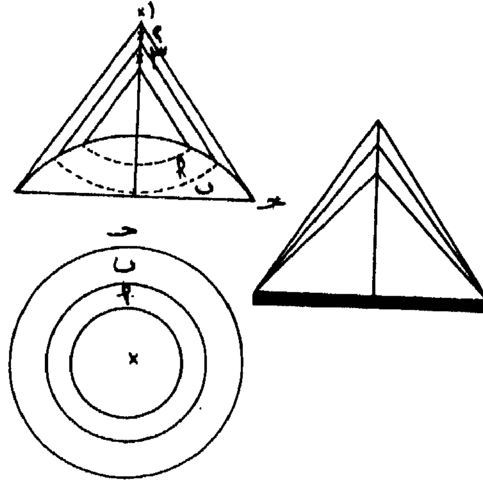
شكل وحجم كتلة الأرض The Shape, Size and Mass of the Earth:

في وقت من الأوقات كان يظن أن الأرض مسطحة (قرص مستدير) ولكن في العصر الحاضر حيث اتسع نطاق غزو الفضاء وبدأت الأقمار وسفن الفضاء على اختلاف أنواعها وجنسيتها تشق الفضاء في مدارات مختلفة حول الأرض وجيرانها من الكواكب لاستكشاف غوامض الكون. فإن الشكل الكروي للأرض أو ما يعرف باسم الجوئيد Geoid قد أمسى حقيقة غير مشكوك فيها. وحتى قبل غزو الفضاء كانت هناك مجموعة من الشواهد البسيطة تؤيد كروية الأرض، من بينها أنه لو كانت الأرض مسطحة لسقطت أشعة الشمس على جميع أركانها في وقت واحد، ولكن كما تعلم أثناء دوران الأرض حول محورها من الغرب إلى الشرق تستقبل الأجزاء الشرقية منها أشعة الشمس قبل الجهات الغربية. وهذا

ثابت فعلاً لما ينتج عنه من ظاهرة الليل والنهار (شكل رقم: ١٤ أ ـ ٢). وأيضاً يمكن، وبدون استخدام أية أجهزة بصرية، ملاحظة أن الأفق الأرضي يتقوس (ينحني) إلى أسفل في البعد، فعند النظر إلى سطح الأرض من بعد، من سفينة أو طائرة أو حتى الوقوف على جرف مرتفع، فأننا نشاهد أن الأفق الأرضي يتسع كلما ارتفعنا إلى أعلى إلى أن يبدو على شكل دائرة. وعلى العكس لو كانت الأرض مسطحة فأن فكرة دائرية أو تقوس الأفق الأرضي ستتلاشى مهما بلغنا من ارتفاع عن سطح الأرض (شكل رقم: ١٤ ب ـ ٢). وتعتبر رحلة ماجلان (١٥١٩ ـ ١٥٢٢) حول الكرة الأرضية من بين الأدلة والبراهين التي أثبتت كروية الأرض قبل عصر غزو الفضاء حديثاً، ولكنها لم توضح ذلك توضيحاً تاماً كما يبدو من خط سير الرحلة إذ أن الرحلة في أول الأمر كان يظن أنها قد أثبتت أن الأرض كروية، ولكنها على العكس من ذلك أن الأرض تتخذ شكلاً مجسماً (أو دوراني غير منقطع الامتداد) أكثر من اتخاذها شكل القرص (المسطح) المستوى الذي ينتهي بنهايات محددة. فالإبحار بالطواف حول الأرض بالشكل الذي تمت عليه رحلة ماجلان يمكن أن يتم حول أرض مكعبة أو اسطوانية.



(شكل رقم ١٤ أ ـ ١) سقوط أشعة الشمس على الجسم الكروي والجسم المسطح

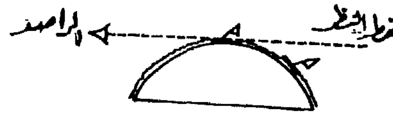


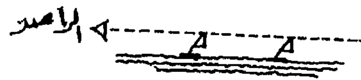
(شكل رقم: ١٤ ب ـ ٢) مقارنة بين مساحة الأفق المسطح والأفق الدائري إذا نظر إليها من أعلي. لاحظ اتساع مساحة الأفق الدائري كلما ازداد الارتفاع، وثبات مساحة الأفق المسطح مهما زاد الارتفاع.

والأن يمكن أن نسوق ثلاثة من الأدلة الهامة التي تبرهن فعلاً على كروية الأرض. الدليل الأول يمكن استنتاجه من الملاحة البحرية، فإذا أبحرت سفينتان وبعدتا عن الشاطىء وتوغلنا في عرض البحر، فإنه يبدو للناظر على الشاطىء كما وأنهما تغوصان (تغرقان) تدريجياً الواحدة تلو الأخرى تحت سطح الماء حتى يختفيا عن الأنظار. والذي ينظر من خلال منظار مقرب أو المكشاف (Telescope) إلى البحر (شكل رقم: ١٤ ب ـ ٢) سيرى أن سطح البحر يرتفع تدريجياً إلى أن يخفي قلاع السفينة، وتفسير ذلك يكمن في أن سطح البحر

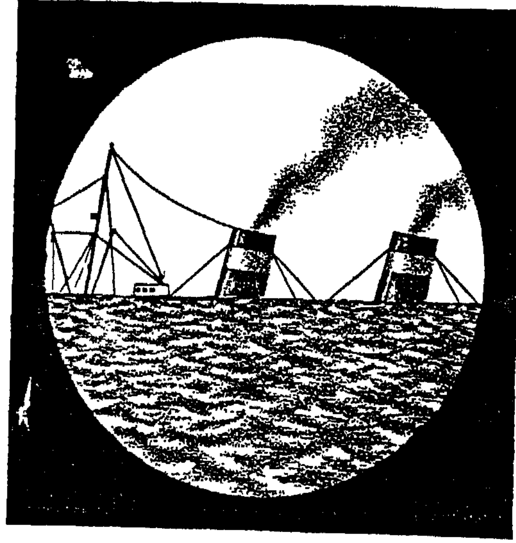
يتقوس إلى أسفل بعيداً عنا. ولإثبات هذا التقوس أو الانحناء الكروي في شكله يلزم إجراء العديد من المشاهدات التي يقاس فيها معدل اختفاء السفينة كوحدات المسافات في اتجاهات مختلفة من مكان الراصد. كل ذلك سوف يثبت كروية سطح الأرض لأنه لو كان سطح الأرض مسطحاً (شكل رقم: ١٥ أ ـ ٢) فإن الناظر يمكن أن يشاهد كلا السفينتين كاملتين ولمسافات بعيدة.

والدليل الثاني على كروية الأرض يبدو من مشاهدة ظاهرة خسوف القمر The Moon's Eclipse والذي يشاهد فيها ظل الأرض وهو ساقط على وجه القمر المواجه لنا. ويبدو هذا الظل على شكل قوس من دائرة على قرص القمر. ويمكن أن يوضح ذلك رياضياً إذا علمنا أن الشكل المجسم (له ثلاثة أبعاد) يلقي دائماً ظلالاً دائرية وفي حالات الخسوف المتتالية فان الأرض نادراً ما تكون في نفس موضعها السابق وبنفس التوجيه، ومهما تكن صورة المظهر الجانبي للأرض أو الظل الملقى على القمر فإن الظلال الدائرية للأرض تتشابه في شكلها على القمر وهذا بالطبع يؤكد أن الأرض لا بد وأن تكون كروية.



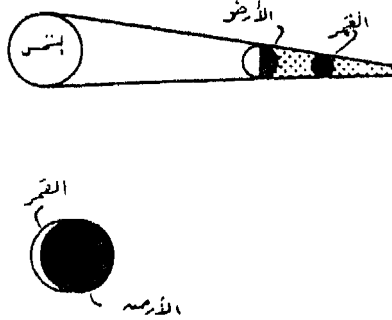


(شكل رقم: ١٥ ـ ٢)شكل يوضح حركة سفينتين على جسمين مائيين أحدهما كروي والآخر مسطح. في الحالة الأولى لا يرى الراصد سوى سفينة واحدة بينما تختفي الأخرى وراء الأفق. وفي الحالة الثانية يمكن للراصد رؤية السفينتين في وقت واحد.



(شكل رقم: ١٥ ـ ٢)
ب ـ منظر من خلال مكشاف لسفينة تبدو وكأنها شبه غارقة في مياه البحر.

والدليل الثالث يستمد من بعض القواعد البسيطة المعروفة لعلم الفلك والتي استخدمها العرب خلال القرن التاسع الميلادي، فالراصد في المنطقة القطبية الشمالية يرى دائماً نجماً لامعاً في سماء هذه المنطقة: يطلق عليه اسم النجم القطبي (النجم الشمالي North Star) في موقع في السماء مسامت لموقع القطب الشمالي على سطح الأرض (شكل رقم: ١٥ د ـ ٢) فإذا ما انتقل الراصد صوب الجنوب عند دائرة عرض ٤٥ شمالاً فأنه يرى النجم القطبي وقد غير مكانه تجاه خط الأفق، أي منتصف المسافة بين القطب الشمالي وخط الاستواء. وكلما تقدم الراصد واقترب من خط الاستواء فإنه سيرى النجم القطبي على مقربة من خط الأفق، وإذا أمكن أخذ قياسات لزاوية ارتفاع النجم القطبي في مواقع مختلفة فإن هذه الزاوية ستقل درجة واحدة لكل مسافة طولها ١١١ كيلو

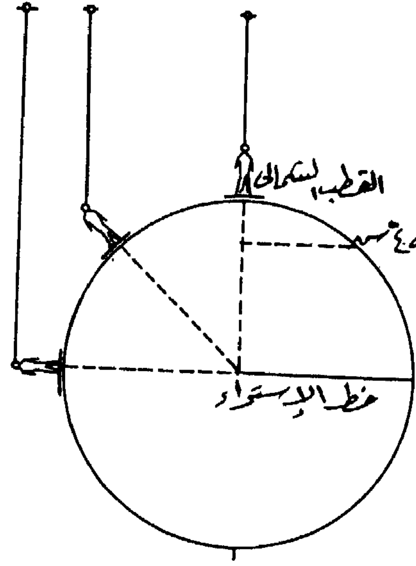


(شكل رقم: ١٥جـ ٢) خسوف القمر وظل الأرض الساقط على القمر

متراً (٦٩ ميلاً) بالاتجاه جنوباً حتى خط الاستواء، يبرهن ذلك على أن طريق تحركنا يتبع قوساً من دائرة، وبتكرار هذه المشاهدات والقياسات على كثير من الخطوط التي تتميز باتجاه شمالي وجنوبي (دوائر خطوط الطول أو خطوط الزوال Meridians) في النصف الشمالي من الأرض، يثبت أن هذا النصف الشمالي عبارة عن أحد نصفي كرة حقيقية.

ولعلنا نتساءل الأن ما الذي جعل الأرض تتخذ هذا الشكل القريب جداً من الشكل الكروي (الجيوئيد Geoid؟).

وتنحصر الإجابة على هذا التساؤل في «الجاذبية» Gravitation وتعرف الجاذبية على أنها القوة الخفية التي تؤثر على كتلة صغيرة من المادة فتجعلها تتحرك إلى أسفل صوب مركز الأرض وتعتبر الجاذبية الأرضية Gravity حالة خاصة من ظاهرة الجاذبية أو ظاهرة الجذب التبادلي بين أي كتلتين، ونعني بالحالة الخاصة أن قوة الجذب بين كتلة الأرض ووحدة صغيرة من كتلة المادة تكون فقط من جانب الكتلة الأكبر أي كتلة الأرض التي تتميز بقدر كبير من الجاذبية للكتلة الأصغر من المادة التي تقل قوة جذبها كثيراً تبعاً لصغرها بالنسبة لكتلة الأرض. ونظراً لتناسب الجاذبية بين أي كتلتين تتناسبا عكسياً مع مربع



(شكل رقم: ١٥ ـ ٢ د ـ) يتوقف ارتفاع النجم القطبي فوق الأفق على المكان الذي يرى فيه هذا النجم في نصف الكرة الشمالي ـ من البراهين التي تؤكد كروية الأرض

المسافة بين مركزيهما، فإن قوة الجاذبية الأرضية تتوقف على المسافة بين أي مركز أي جزء من المادة الأصغر حجماً ومركز الأرض ـ الذي يقع قريباً من المركز الهندسي للكرة. ومن المعروف، من علم الرياضيات، أن الكرة عبارة عن جسم تبعد جميع النقط على سطحه بمسافات متساوية عن المركز. وعلى أساس هذه القاعدة فأنه يمكن القول أن الجاذبية تتساوى عند كل النقط التي تقع على منسوب سطح البحر بالنسبة للأرض ككل، حيث تبعد هذه النقط عن مركز الأرض بمسافات متساوية، وبالرغم من أهمية الجاذبية لكل أنواع الحياة التي بدأت على سطح الأرض، تحت تأثير قيمة موحدة للجاذبية على الأرض وبتغير لا يكاد يذكر في هذه القيمة أثناء الفترة الطويلة منذ نشأت الأرض من بليون سنة أو أكثر، إلا أنها تمثل أقل العوامل البيئية الرئيسية شيوعاً في بيئة الأرض الكوكبية. وتتخذ قوة الجاذبية الأرضية، كعامل بيئي، طرقاً متعددة للتأثير: فهي تعمل على تصنيف وترتيب كثافة المواد وتنظيم نطاقاتها المتباينة بحيث تتجه



(شكل رقم: ١٦ ـ ٢): صورة كوكب الأرض من الفضاء

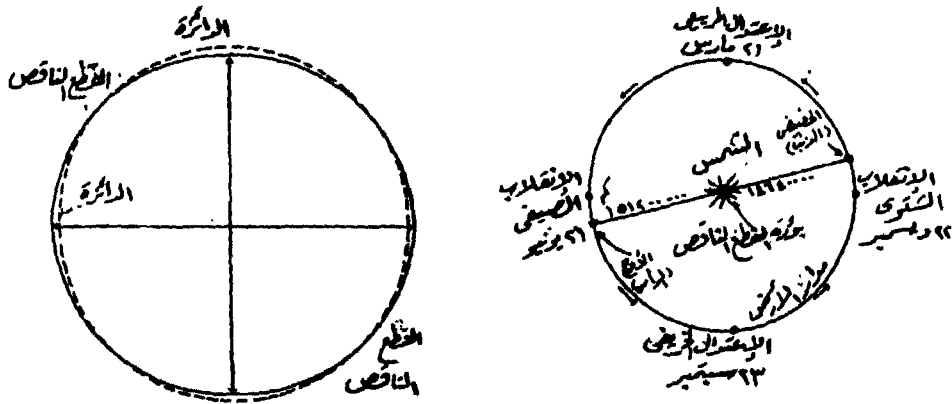
المواد العظيمة الكثافة الثقيلة الوزن إلى أسفل، وتحتل المواد القليلة الكثافة الخفيفة الوزن الأجزاء العليا ومن أمثلة ذلك نظام ترتيب الكثافات لكل من الهواء والماء والصخور إذ أنها جميعاً تتخذ ترتيباً كثيفاً معيناً بالنسبة لاستجابة كل منها القوى الجاذبية. ونتيجة لذلك فإن الغلاف الحيوي، أو طبقة الحياة Life Layer، يمكن اعتباره سطحاً يشكل حدوداً مشتركة بين الغلاف الجوي والمسطحات المائية من جهة وبين الغلاف الجوي والقشرة الصلبة للأرض من جهة أخرى. كذلك تمد الجاذبية الأنظمة الطبيعية Phsical System في طبقة الحياة بالقوة اللازمة للعمليات التي تقوم بها مثل أنظمة الأنهار المائية والجليدية، وما تقوم به من هدم وتعرية لسطح الأرض. وللوقوف على أهمية الجاذبية الأرضية كعامل وكعنصر من العناصر الرئيسية للبيئة فإنه لو افترضنا تلاشي تأثير الجاذبية أو عدم وجودها لسادت حالة من انعدام الوزن للأشياء ولترتب على هذه الحالة حدوث هدم وإزالة شاملة لجميع مكونات البيئة خلال فترة قصيرة من الوقت.

وفي الحقيقة فأن هناك اختلافات طفيفة جداً ومنتظمة (ثابتة) في قوة الجاذبية من مكان لآخر على سطح الأرض. فقوة الجاذبية في المنطقة الاستوائية أقل منها عند القطبين، كما أنها تقل بالارتفاع عن سطح البحر، ولكن تبعاً لصغر هذه الاختلافات فإنه يمكن اعتبار قوة الجاذبية ثابتة لجميع أركان الأرض. وبناء على ذلك فإن ثبات قيمة قوة الجاذبية يمكن اتخاذه كدليل على كروية الأرض. فإذا افترضنا أن قانون الجاذبية المشهور لنيوتن (١٦٤٣ ـ ١٧٢٧) وهو أن قوة الجذب بين أي جسمين تتوقف على حاصل ضرب كتلة الجسمين مقسوماً على مربع المسافة بينهما، قانون صحيح فإن ذلك يعني أن ثقل وزن أي شيء عند مكان ما يجب أن يكون هو نفس الثقل والوزن في أي مكان آخر على سطح الأرض. فعلى سبيل المثال إذا أخذنا قطعة من الحديد وميزاناً صغيراً بدقة معلومة وتجولنا بهما في مواقع كثيرة على سطح الأرض. وفي كل موقع نقوم بوزن قطعة الحديد ونسجله، فإذا كان وزن قطعة الحديد غير مختلف لكل

الأماكن فأنه يمكن القول أن عملية الوزن قد تمت في أماكن تقع على مسافات متساوية من مركز كتلة الأرض. أما إذا اختلف وزن قطعة الحديد فإننا بالتالي نكون قد تجولنافوق جسم كروي أو أرض كروية الشكل. وفي الحقيقة فإن نفس هذه التجربة البسيطة لإثبات كروية الأرض بطريق غير مباشر قد أجريت مرة أخرى ولكن باستخدام أجهزة أكثر دقة لأظهرت التجربة أن الشكل الحقيقي للأرض ينحرف قليلاً عن الشكل للكرة التامة الاستدارة والمتساوية الأقطار ذلك لأنها منبعجة نسبياً عند المناطق الاستوائية وشبه مفلطحة بالمناطق القطبية. ويعزى ذلك، تبعاً لقوانين الجاذبية والحركة لنيوتن، إلى أن المنطقة الاستوائية تقع على مسافة من مركز الأرض أكبر نسبياً من مثيلتها عند المنطقة القطبية، كما يرجع السبب في إنبعاج المناطق الاستوائية وتفلطح المناطق القطبية إلى أثر فعل عملية دوران الأرض حول نفسها، وما ينجم عن ذلك من تكوين قوة الطرد المركزية Centrifugal Force، والتي تعيد تشكيل الأرض وتجعلها تأخذ شكلاً هندسياً، يجعلها في حالة توازن بالنسبة لقوى الجاذبية والدوران. كما أظهرت القياسات العديدة بالأجهزة المساحية الحديثة العالية الدقة أن الشكل الحقيقي للأرض هو شكل القطيع الناقص المفلطح، إذ أن أي قطاع عرضي على طول المحول القطبي يوضح أنه على امتداد قطع ناقص وليس على قطر دائرة، بينما يمثل المحور الإستوائي قطر دائرة وهو بذلك يمتد عليه أكبر محيط محتمل لهذا القطع الناقص، أو ما يعرف باسم الجيوئيد.

ويمكن أن نعطي الأن صورة عن أبعاد شكل الكرة الأرضية (شكل رقم: ١٧ ـ ٢)، فيبلغ قطرها الإستوائي ١٢٧٥٧ كيلو متراً (٧،٩٧٣،١ ميلاً)، بينما يبلغ طول قطر القطبي ١٢٧١٤ كيلو متراً (٧٩٤٦ ميلاً) وبذلك يكون الفرق بين القطرين ٤٣ كيلو متراً (نحو ٢٧ ميلاً) ويكون تفلطح القطع الناقص (مفلطح القطبين) عبارة عن نسبة هذا الاختلاف والقطر الإستوائي أي ١٢٧٥٧/٤٣ أو ٣٠٠/١ تقريباً. أي أن طول المحور القطبي أقل ٣٠٠/١ من طول المحور الإستوائي. وتجدر الإشارة إذن إلى أن هذا الإنبعاج في المناطق الإستوائية

والتفلطح في المناطق القطبية تبعاً لاختلاف طول القطرين ليس بظاهرة بارزة، ذلك لأنه لو قدرنا أن الكرة الأرضية صارت كرة طول قطرها ١٥٠ سنتيمتراً فإن طول القطر الإستوائي تبعاً لعملية الإنبعاج، وبالنسبة السابقة ١/ ٣٠٠، لا يزيد عن ٥ ملليمتر عن طول المحور القطبي. وقد اعتقد بعض الباحثين بأنه لا يحدث في الوقت الحاضر أي زيادة تدريجية في طول القطر الاستوائي للأرض، ومن ثم فأن سبب تلك الزيادة التي أدت إلى إنبعاج المناطق الاستوائية ترجع إلى بداية نشأة الأرض عندما كانت صخورها من المرونة أو اللزوجة بحيث تساعد على إنبعاج المواد التي تتكون منها في المناطق الإستوائية.



(شكل رقم: ١٧ ـ ٢) أبعاد الكرة الأرضية

أما عن محيط الأرض فقد ظل مجهولاً وغير معروف تماماً حتى عام ٢٠٠ قبل الميلاد حين قام ايراتوستين (أمين مكتبة الإسكندرية القديمة) بعملية قياس مباشر، على أساس رياضي، لمحيط الأرض. فقد لاحظ ايراتوستين أن أشعة الشمس وقت الظهيرة أثناء يوم معين من أيام السنة (قريب لوقت الإنقلاب الصيفي، في ٢١ يونيو) تسقط على مدينة أسوان رأسية (عمودية) تماماً. أو

بمعنى آخر أن الشمس عند الظهيرة تكون في نقطة التسامت في سماء أسوان وبالتالي فإن أشعتها تكون عمودية على النقطة المناظرة لها على سطح الأرض (شكل رقم: ١٨ ـ ٢). بينما في نفس اليوم عند مدينة الإسكندرية، فإن أشعة الشمس عند الظهيرة تنحرف عن الوضع العمودي بزاوية مقدارها ٧,٢ درجة (١/ ٥٠ من الدائرة). وعلى ذلك فإن اراتوستين لا يحتاج سوى معرفة المسافة (في اتجاه شمالي جنوبي) بين الإسكندرية وأسوان ليضربها في ٥٠ ويحصل على محيط الأرض. وفي أيام اراتوسيتن لم تكن المسافات بين الأماكن تقاس بوحدات القياس المعروفة الأن ولكنها كانت تقاس بوحدات يطلق عليها اسم الاستدايا (الاستاديا = ١٨٥ متراً أو ٦٠٧ قدماً). وقد وجد اراتوستين أن المسافة بين الإسكندرية وأسوان تبلغ ٥٠٠٠ استدايا. وبعملية حسابية بسيطة يمكن معرفة طول محيط الأرض كما قاسه اراتوستين بوحدات القياس المتداولة في العصر الحالي والذي يمكن تقديره بنحو ٤٣،٠٠٠ كيلو متر (٢٦٧٠٠ ميلاً) وهو

(شكل رقم: ١٨ ـ ٢) طريقة اراتوستين لقياس محيط الكرة الأرضية

رقم قريب جداً من طول محيط الأرض التي حصلنا عليه بمساعدة الأجهزة الحديثة. إذ يبلغ محيط الأرض على المحور الإستوائي بنحو ٤٠٠٩٣ كيلومتراً (٢٥٠٥٨ ميلاً) بينما يبلغ المحيط على المحور القطبي بنحو ٣٩٥٨ كيلو متراً (٢٤٩٧٤ ميلاً): أي أن محيط الأرض القطبي يقل عن محيطها الإستوائي بنحو ١٣٥ كيلو متراً (٨٤ ميلاً).

وتبلغ المساحة الكلية للأرض ٥١٠ مليون كيلو متر مربع (أي ١٩٦،٩ مليون ميل مربع)، أما حجم الأرض فيبلغ ١٠٨٢٠٠٠ مليون كيلو متر مكعب (أي ٢٥٩٦٠٠ مليون ميل مكعب)، بينما تبلغ كتلة الأرض إلى ٥،٩٤٥ × $١٠^{٢٤}$ كيلو جرام (٥،٨٨٢ × $١٠^{٢١}$ طن).

توازن قشرة الأرض Isostasy:

يعتبر الجيولوجي الأمريكي داتون Dutton (أول من اقترح اصطلاح Isostasy) للتعبير عن حالة التوازن بين القارات بما عليها من مرتفعات مختلفة مكونة من صخور جرانيتية خفيفة (السيال) من جهة أخرى، وبين ما يقع أسفلها من صخور بازلتية ثقيلة (السيما) من جهة أخرى. وقد سبق أن ذكرنا أن الأرض تتركب من طبقات مختلفة ابتداء من سطح القشرة الأرضية حتى جوف الأرض. ويظن أن هذه الطبقات قد تكونت بينما كانت الكرة الأرضية تبرد وتتصلب تدريجياً، وبذلك اتجهت المواد الثقيلة إلى لب الأرض Core بينما بقيت المواد الحامضية الجرانيتية بالقرب من السطح تبعاً لخفتها.

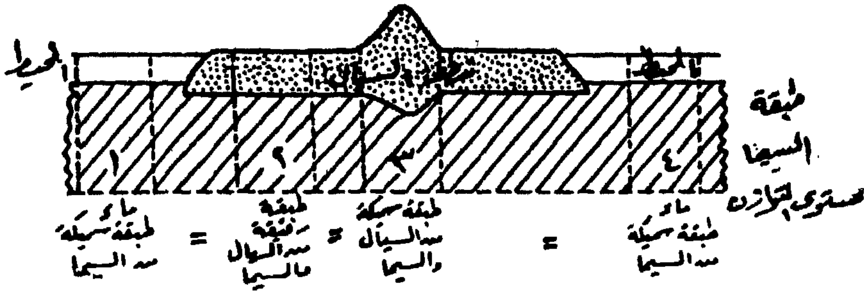
ولقد حار العلماء في معرفة كثافة جوف الأرض وتركيبه واختلفت الآراء بين كونه نواة صلبة أو شبه سائلة (أي في حالة مرنة أو لزجة)، ولكن في النهاية أجمعت الآراء على شدة حرارته وثقله وقوة الضغط عليه، وعلى ذلك يرجح أن يكون لب الأرض مكوناً أساساً من الحديد والنيكل وعلى هذا فقد سمي بالنايف Nife نسبة إلى هذين الفلزين كما ذكرنا آنفاً. وقد نتج عن هذه المعلومات أن لاحظ الجيولوجيون أن طبقة السيال تضغط دائماً على طبقة السيما الأمر الذي

اكتسب به صخور السيما صفة الأجسام المرنة أو أصبحت لزجة إلى حد ما (كالعجينة) Plustic material. وعلى هذا الأساس فأن القارات وما عليها من جبال من السيال لا ترتكز فوق طبقة السيما ارتكازاً مباشراً ولكنها تطفو على سطح السيما كما تطفو جبال الثلج على ماء البحار والمحيطات، ولكي نضرب مثلاً لهذه الحالة فأنه لو وضعت عدة كتل من الخشب ذات أطوال مختلفة وتركت لتطفو في حوض به ماء (شكل رقم: ١٩ ـ ٢) فسيلاحظ أن هذه الكتل تطفو فوق سطح الماء بارتفاعات تتناسب مع أطوالها المختلفة ويقال أنها في حالة توازن مائي، وينطبق ذلك تماماً على القارات، فهي كما سبق أن ذكرنا تتكون من صخور جرانيتية قليلة الكثافة ولكنها تختلف في سمكها من منطقة لأخرى حسب تباين الأشكال التضاريسية التي تنتظمها مثل الجبال أو الهضاب أو السهول التي تتميز باختلاف ارتفاعها. ولقد قادت القياسات الخاصة بالجاذبية في مناطق كثيرة من العالم إلى الاعتقاد بأن الأجزاء المرتفعة من كتل القارات تتسم بحالة توازن تبعاً لطبيعة طبقة السيال السميكة نسبياً التي تتكون منها. أو بعبارة أخرى هناك تجاوب دائم بين مستوى السيما ووزن السيال الطافي عليها فكل نقص في أحدهما لا بد أن يعوض بزيادة في الآخر والعكس صحيح. فإذا قارنا مثلاً المناطق التي تشغلها القارات وهي مناطق مرتفعة (أماكن موجبة Positive areas) بالجهات التي تشغلها المحيطات وهي جهات منخفضة (أماكن سالبة Negative areas) سنجد أن كتل القارات تتكون من مواد أقل كثافة (سيال) من المواد التي يتألف منها قاع المحيطات (السيما)، وفي حقيقة الأمر فإن كتل القارات (السيال) الخفيفة تطفو فوق طبقة السيما تحافظ على توازنها وبذلك فإن جزءاً كبيراً منها يغور أو يتعمق في طبقة السيما التي تقع أسفلها. ويعتقد العلماء أن حجم الجزء المتعمق من طبقة السيال في طبقة السيما يفوق كثيراً الجزء المرتفع من كتل القارات نفسها (يطلق على الجزء المتعمق من السيال اسم جذور القارات) ويبلغ نحو ثمانية أمثال الجزء الظاهر فوق طبقة السيما. وعلى ذلك فإن الجبال فوق القارات بارتفاعها الشاهق وبجذورها

العميقة تشبه الأوتاد التي تثبت سيال القارات في سيما اورض. وعز من قائل: ﴿ألم نجعل الأرض مهاداً والجبال أوتاداً﴾، صدق الله العظيم. وبذلك تحتفظ القشرة الأرضية بالتعادل بين مرتفعاتها ومنخفضاتها فيما يسميه العلماء بالتوازن الاستاتيكي للأرض Isostasy.

وممن اهتموا بدراسة توازن القشرة الأرضية العالم الأمريكي هايفورد الذي ذكر أنه على عمق (لا يزيد عن ١٠٠ كيلو متر) عن سطح الأرض يوجد مستوى رمزي أطلق عليه اسم «مستوى التوازن» وهو المستوى الذي يفصل بين المواد المتساوية الكثافة التي توجد تحته، والمواد المختلفة الكثافة التي توجد فوقه. ولكي يوضح هذا الاختلاف افترض وجود كتل من القشرة الأرض على شكل أعمدة متساوية القاعدة تمتد كما هو واضح في (الشكل رقم: ١٩ ـ ٢) حتى تصل إلى مستوى التوازن، وبذا استطاع أن يثبت أن كثافة هذه الكتلة تتناسب تناسباً عكسياً مع ارتفاع كل منها. ونظرة إلى (الشكل رقم: ١٩ ـ ٢) تدل على أن الثقل على الخط س ص يمثل المستوى الرمزي (مستوى التوازن) الذي يكون متساوياً أو موزعاً بالتساوي في أي مساحات متساوية مهما اختلف شكل تضاريس. والمساحات التي تمثلها الأعمدة متساوية القاعدية ١، ٢، ٣، ٤ عبارة عن مناطق متساوية في الوزن والثقل على الرغم من اختلاف الأشكال التضاريسية التي تضمها. فمنطقة العمود (٢) التي تمثل منطقة سهلية تتكون من طبقة رقيقة من السيال الخفيفة يجب أن تتعادل مع طبقة سميكة من السيما الثقيلة، بينما المنطقة الوسطى (عمود ٣) التي تمثل المنطقة الجبلية لم يساعد على ارتفاعها على النحو الذي تبدو به إلا قلة كثافة المواد التي تكونها وهي طبقة سميكة من السيال. وكما نرى من الشكل أن المنطقتين المنخفضتين (عمود ١، ٤) لا يحتوي أي منها على طبقة من السيال ولكنهما يتكونان كلية من طبقة السيما الثقيلة، أو بعبارة أخرى فإن انخفاض هاتين المنطقتين يعزى إلى عظم كثافة المواد التي يتكونا منها. وما كان هذا ليتم إلا ليتساوى وزن وثقل ماء المحيط الخفيف مع طبقة السيما فوق مستوى التوازن (س ص) في هاتين

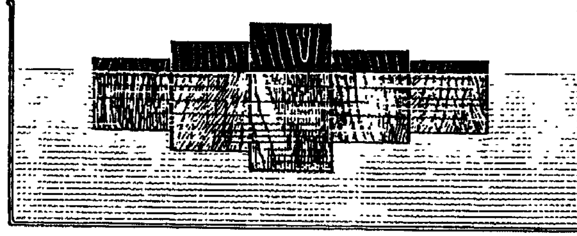
المنطقتين مع وزن طبقتي السيال والسيما في المنطقتين الأخريتين وإذا تحقق هذا التعادل فإنه يقال أن المناطق الأربعة في حالة توازن الواحدة مع الأخرى.



(شكل رقم: ١٩ ـ ٢) توازن القشرة الأرضية حسب رأي Dutton & Airy
(تساوي الكتل في الوزن واختلافها في الكثافة)

وهناك رأي آخر للجيولوجي برات Pratt يعارض فكرة مستوى التوازن الذي اقترحه داتون Dutton وأيده الجيولوجي ايري Airy. وينتهي هذا الرأي إلى أن القشرة الأرضية الممثلة في كتل القارات مكونة من صخور جرانيتية متشابهة في الكثافة وأن الأشكال التضاريسية فوق القارات تدل على اختلاف سمك القشرة الأرضية. فالجهات الجبلية المرتفعة عبارة عن مناطق يعظم فيها سمك القشرة بينما تحتوي الجهات المحيطية المنخفضة على مناطق رقيقة القشرة. وتبعاً لذلك لا يتحتم أن يكون العمق الذي تصل إليه كتل السيال، المختلفة السمك، في طبقة السيما متساوياً، بل يكون قاع كل السيال المتعمق في السيما مختلفاً بين ارتفاع وانخفاض (شكل رقم ٢٠ ـ ٢).

ولعل الرأي الأخير يقودنا إلى التساؤل عن طبيعة طبقة السيما التي تطفو عليها قشرة الأرض. أو بعبارة أخرى هل طبقة السيما جسم سائل؟ ولإجابة هذا السؤال فنسترجع ما عرفناه عن باطن الأرض، والذي يؤكد على وجود جسم سائل أسفل القشرة الأرضية. ولكن دلت الأبحاث الحديثة على أن الصخر

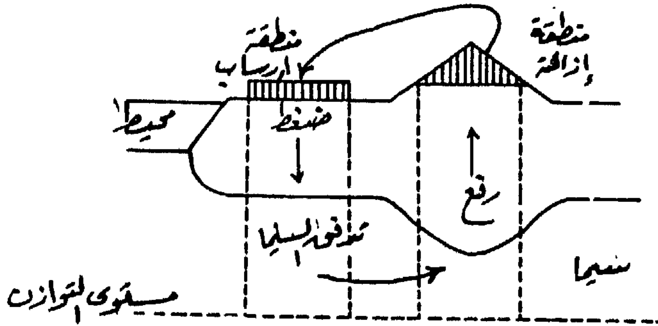


(شكل رقم: ٢٠ ـ ٢) توازن القشرة الأرضية حسب رأي Pratt
(إتحاد الكتل في الكثافة واختلافها في الوزن والحجم)

الصلب إذا تعرض لضغط شديد فإنه يكتسب صفة الأجسام المرنة. وعلى ذلك يعتقد العلماء أن الجزء الخارجي من القشرة الأرضية يتوازن فوق الطبقات الواقعة تحته كما لو أن هذه الطبقات تتصف بسيولتها أو مرونتها.

ولعلنا نتساءل أيضاً ماذا يحدث لتضاريس قشرة الأرضية من مرتفعات ومنخفضات إذا تعرضت لشيء من التغير بفعل عوامل التعرية المختلفة؟ وما تأثير ذلك على توازن هذه القشرة؟ وللإجابة على هذا نذكر أن عوامل التعرية المختلفة التي تحاول أن تهدم كل المرتفعات التي على سطح القارات ترسب كل هذه الرواسب بكمياتها الضخمة في منطقة الرف القاري Contenintal shelf وفي قيعان البحار، ويؤثر ثقل هذه الرواسب التي تقدر بملايين الأطنان سنوياً على القاع المكون من طبقة السيما التي اكتسبت صفة الأجسام المرنة Plastic Substance وأصبحت شبه سائلة. ويذكر أنصار نظرية التوازن أن قاع البحار الذي يزداد عليه تراكم الأرساب يهبط بالتدريج وتحدث عملية تحرك السيما نتيجة لزيادة الضغط الواقع عليها، والذي لا يلبث أن يتحول إلى قوة دافعة للسيما نحو المكان الذي خف الثقل (الحمل) الذي كان عليه من صخور السيال

نتيجة تأكلها، فتساعد بذلك على ارتفاع هذا المكان ثانية ليعادل الهبوط الذي حدث. وتسمى هذه العملية بإعادة التوازن للأرض Isostatic Readjustment (شكل رقم: ٢١ ـ ٢).



(شكل رقم: ٢١ ـ ٢) نظرية التوازن (ارتفاع المناطق المرتفعة التي تأثرت بعوامل التعرية بسبب الضغط الواقع على المناطق المنخفضة من الرواسب التي أرسبت فوقها وانتقال هذه الحركة خلال طبقة السيما).

وتجدر الإشارة في هذا الصدد إلى أن عملية التوازن السابق ذكرها تتطلب انقضاء فترة طويلة من الزمن حتى يتم التعادل والتوازن بين أجزاء الفترة الأرضية. ومهما يكن من أمر عملية التوازن من رفع أو خفض قشرة الأرض تبعاً لإزالة أو تراكم الرواسب، فإنه لا ينتظر على الإطلاق أن يصبح سطح الأرض أملساً تختفي عليه الأشكال التضاريسية. أو بمعنى آخر فأن تضاريس القشرة الأرضية ستبقى كما هي أي ستحافظ المناطق المرتفعة على ارتفاعها والجهات المنخفضة على انخفاضها. ولكن إذا عرفنا أنه تبعاً لاختلاف كثافة الطبقات العليا (السيال) عن الطبقات السفلى (السيما) لقشرة الأرض، ولكي تتوازن هذه القشرة فإن الارتفاع الذي يعلوه سطح الأرض في الجهات التي يخف عنها ما

كانت تحمله من أثقال يكون أقل كثيراً من سمك الطبقات التي تزيلها عوامل التعرية المختلفة من هذه الجهات.

ومن هذه الأدلة والبراهين التي تؤيد ظاهرة التوازن، التي نقلت في وقتنا الحالي من مجرد نظرية إلى أمر واقع وحقيقي آمن به العلماء ولمحه الناس جميعاً، ما حدث في الجهات الشمالية من قارتي أوربا وأمريكا الشمالية التي تغطت بالجليد في العصر الجليدي، إذ هبطت القشرة الأرضية تحت ضغط تراكم الجليد فوق تلك الجهات. وبعدما ذاب الجليد، وقبل أن يعود للأرض مستواها الأول طغت عليها مياه المحيط لأن منسوبها كان منخفضاً ولكن هذه المياه عادت فانحسرت عن الأرض تبعاً لارتفاعها البطيء بعد أن خف عنها ضغط الجليد. وهناك مناطق أخرى من العالم تأثرت بعمليات الهبوط التي تؤيد ظاهرة التوازن، ومن أمثلة هذه المناطق دلتا المسيسبي وكذلك دلتا النيل. فالرواسب الدلتاوية في هاتين المنطقتبن تتميز بعظم سمكها وزيادة ثقلها مما يؤدي إلى هبوط أو ترسيب طبقة فوق قشرة الأرض، وبالتالي يمكن لطبقة أخرى أن تتكون في نفس العمق الذي هبطت به القشرة (أي في نفس العمق الذي ترسبت به الطبقة السابقة)، وهذه العملية مستمرة حتى وقتنا الحاضر.

الفصل الثالث

توزيع اليابس والماء
(القارات والمحيطات)

توزيع اليابس والماء(القارات والمحيطات)

تعتبر محاولة التعرف على أصل ونظام وتوزيع اليابس والماء (القارات المحيطات) من المحاولات الصعبة نظراً للتغير الذي يعتري كل من الكتل القارية، والأحواض المحيطة. ولكن على الرغم من تعدد مصادر المعرفة واختلاف الوسائل نحو تيسير مثل هذه المحاولة، يمكن أن يكون هناك فهم عام لنظام هذا التوزيع. وبادىء ذي بدء يطلق على التوزيع العام لليابس والماء اسم «تضاريس المرتبة الأولى للقشرة الأرضية» التي تعتبر مظهراً جيولوجياً تكون بفعل القوى والعوامل الباطنية المختلفة للكرة الأرضية. ونظراً لطول عمر كوكب الأرض (حوالي ٤،٥ مليون سنة) فإن محاولة تفسير تغير أصلها بصفة عامة ومحاولة فهم نظام توزيع الأحواض البحرية (المحيطات) والكتل القارية بصفة خاصة، يجعل الاعتماد على رأي منفرد لمحاولة دراسة نشأة التوزيع الحالي للقارات والمحيطات أمراً مشكوكاً فيه إلا أن المحاولات العلمية المستمرة قد صادفها التوفيق في عرض كل ما يتصف به شكل التوزيع العام للتضاريس والماء، وكذلك نجحت في وضع أفكار معينة لتفسير أصل هذا التوزيع.

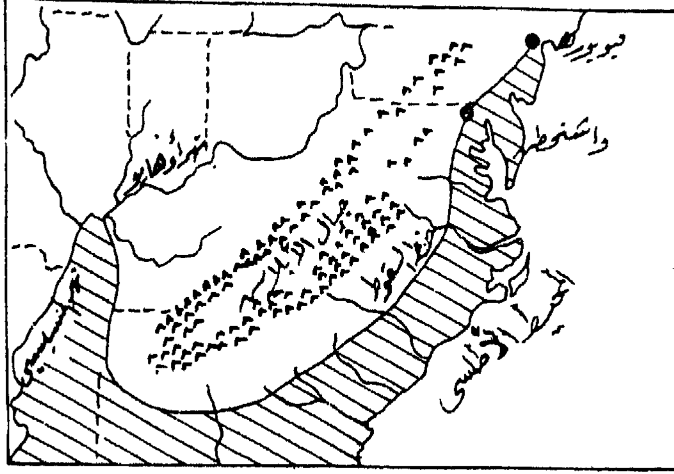
والسؤال الأن الذي يتطلب منا الإجابة هو، هل ظهرت القارات الحالية إلى عالم الوجود منذ البداية، هل كانت المحيطات دائماً حيث هي الأن؟ أكانت القارات والمساحات التي تشغلها المحيطات بنفس الشكل كما هي في الوقت الحاضر؟ من الغريب بمكان، أن العلماء لا يتفقون في الرأي عند الإجابة عن هذا السؤال، فهناك بعض الجيولوجيين الذين يعتقدون أن توزيع اليابس والماء

المعروف حالياً قد ظل على ما هو عليه طوال الأزمنة والعصور الجيولوجية. أما البعض الآخر فيؤكد أنه لا بد أن أحواض المحيطات كانت تشغلها قارات أخرى. والرأي الأول بالطبع لا يستند إلى شيء كبير من الصحة وفي حاجة إلى براهين، إذ أنه يشير إلى أن القارات تتكون في معظمها من صخور رسوبية وجرانيتية خفيفة، بينما تتكون قيعان المحيطات من صخور بازلتية ثقيلة. وطبقاً لهذا الرأي واستناداً على اختلاف كثافة صخور كل من القارات وقيعان المحيطات، فإن معنى هذا أن القارات لا بد أن تكون حيث هي الأن ثابتة منذ بدء تاريخ الأرض. إذ أنه من المستحيل التخلص من قارة مثلاً، أي من حجم يبلغ عدة ملايين من الأميال المكعبة من الصخور، كما أنه من الصعب صنع قارة جديدة إذ لا بد أن يعثر على مثل هذه الكمية الهائلة من الصخور في مكان آخر، إذن فطالما عرفنا هذه القارات القديمة بعينها ولسوف نعرفها كما هي إلى انقضاء الدهر، ستظل هي الحقيقة الواقعة.

وبالرغم من ذلك نجد أن البعض الآخر من العلماء يعتقد أن القارات والمحيطات لم تكن حيث هي الأن، ويتذرع على ذلك بسببين أساسيين يقوم أحدهما على الحقائق المعروفة عن المواد الرسوبية. إذ تدل التراكيب الجيولوجية للمناطق الالتوائية على أن صخور هذه المناطق تكونت تحت سطح البحر وهذا دليل على أن أجزاء من قيعان البحار والمحيطات قد ظهرت فوق هذه المياه مكونة أجزاء يابسة على وجه الأرض. ومعنى هذا أن أجزاء معينة من القارات المعروفة حالياً لا بد أن غطاها البحر، على الأقل مرة، إن لم يكن مرات كثيرة. ومع فقد فقد اكتشف الجيولوجيون في الأونة الأخيرة أن قوام الصخور التي تكون ولاية نيوانجلند في الولايات المتحدة الأمريكية هو مواد رسوبية جاءت إلى الولايات المتحدة من الشرق، أي من المحيط الأطلسي الحالي. وبناء عليه فمن الضروري أن تكون هذه المساحة قد شغلتها كتلة يابسة من قبل. ففي جبال الأبلاش عثر على آثار دلتا نهر عظيم، لا يقل اتساعاً عن نهر ميسوري، كان ينساب لملايين السنين مضت فوق هذه الأرض الشاسعة، في

المحيط الأطلسي، ويجلب معه المواد الرسوبية، ويلقي بها إلى البحر الذي كان وقتئذ يغطي ولاية نيوانجلند. ولا بد أن هذا النهر، وأنهار كثيرة غيره، قد نقلت بلايين الأطنان من المواد الرسوبية من تلك القارة القديمة في المحيط الأطلسي، فنشأت ولاية نيوانجلند. ويعتقد أنصار هذا الرأي أيضاً أنه في وقت ما كانت مساحات شاسعة من اليابس تشغل ما يعرف اليوم بالمحيط الأطلسي. وكانت الأنهار تنساب غرباً من هذه الأرض (التي يطلق عليها الجيولوجيين اسم أبلاشيا) وتلقي بالمواد الرسوبية التي تحملها في البحر الذي كان يغطي وقتئذ الولايات الشرقية من الولايات المتحدة (شكل رقم: ١ ـ ٣) وبعد عدة ملايين من السنين تعرت أبلاشيا بفعل عوامل التعرية وأصبحت مستوية تماماً. فمن المحتمل أن كان على سطحها عدة جبال أو تلال. ثم أصبحت الأرض قريبة من مستوى سطح البحر، كما أخذت الأنهار تنساب ببطء ولم تعد تحمل الكثير من المواد الرسوبية تبعاً لضعف انحدار سطح أبلاشيا. وبالرغم من ذلك، فقد كانت نيوإنجلند لا تزال تغطيها المياه، ثم حدث بعد ذلك أن هبطت قارة الأطلسي، ومن المحتمل أن ولاية نيوإنجلند في الوقت نفسه تكون قد ارتفعت فوق سطح البحر، أما الأنهار فقد بدأت تنساب في الاتجاه المضاد ملقية برواسبها في المحيط الأطلسي. وما قيل عن أمريكا الشمالية يمكن أن يقال عن أماكن أخرى كثيرة. فقد اكتشف الجيولوجيون، على سبيل المثال، أن المواد الرسوبية التي تكونت منها اسكتلنده أتت من كتلة يابس إلى الغرب من اسكتلنده، من المعقول إلى حد بعيد أنها كانت جزءاً من قارة الأطلسي. أما السبب الآخر فيعتمد على الأبحاث التي قام العلماء فيها بدراسة النبات والحيوان في جميع بقاع العالم، وما هو موجود منها الآن وما كان يعيش فيما مضى من الزمن ـ أي تلك التي تركت حفرياتها وراءها بين الصخور. ولقد اتفق العلماء في الرأي مع هذه الفئة من الجيولوجيين، بعد أن عثروا على مئات من الحالات التي ظهرت فيها نباتات وحيوانات من نوع واحد في قارات منفصلة متباعدة، أو على جزر تفصل بينها محيطات كاملة، كلها تؤيد على اتصال القارات بعضها ببعض في وقت من

الأوقات، أو بمعنى آخر لا بد أن كانت هناك كتل يابسة ثم اختفت الآن وغاصت تحت سطح البحر.



(شكل رقم: ١ ـ ٣) خط السقوط ـ وقد كان شاطئاً في وقت ما لشرق الولايات المتحدة الأمريكية، وتكوين السهل الساحلي الأطلسي من القارة القديمة في المحيط الأطلسي.

ولقد ظلت حقيقة الامتداد الفعلي للمسطحات البحرية والكتل القارية مجهولة لدى سكان العالم القديم حتى بداية الكشوف الجغرافية في القرن الخامس عشر الميلادي. فكان يعتقد أن نسبة مساحة اليابس إلى الماء على سطح الكرة الأرضية هي ١ : ٣ ولكن الاكتشافات الجغرافية الحديثة في المناطق القطبية وبخاصة حول القطب الجنوبي قد أماطت اللثام عن وجود أرض يابسة شاسعة المساحة مثل فكتوريا لاند Victoria Land وجراهام لاند Graham Land وإذا ما أخذنا هذه المساحات الحديثة من يابس الأرض في الاعتبار فإنها ولا شك ستقلل الفرق بين نسبة مساحة اليابس والماء. ومع هذا فما تزال مساحة المسطحات المائية تفوق مساحة اليابس بكثير. وبناء على هذه التقديرات

الحديثة نجد أن نسبة المسطحات اليابسة إلى المسطحات المائية على وجه الأرض هي ١ :٢,٤٣ أو بنسبة ٢٩,٢٪ يابس، ٧٠,٨٪ ماء. وعلى ذلك لا يكون الخطأ كبيراً إذا ما قلنا أن كل وحدة مساحية واحدة من اليابس تقابل وحدتين ونصف وحدة من الماء.

ولقد وضع مركيتور Marcator (١٥٦٩ م) نظريته المعروفة بنظرية التعادل. وتتلخص هذه النظرية في أن كتل اليابس في القسم الشمالي والجنوبي من الكرة الأرضية تتساوى في مساحاتها. أو بعبارة أخرى أن كتل اليابس تتوازن وتتعادل في نصفي الكرة الأرضية. وذهب مركيتور أبعد من ذلك وذكر أن مساحة اليابس تساوي مساحة الماء على سطح الأرض. ولقد دحض هذه النظرية الرحالة تاسمان Tasman حين قام برحلاته الاستكشافية عام ١٦٤٢ م فاكتشف جزيرة تسمانيا (نسبة إلى اسمه). ولقد سقطت نظرية مركيتور نهائياً بعد أن اكتشف كوك Cook أرضي قارة استراليا الواسعة.

وفي القرن ١٨ الميلادي قام بعض الباحثين بمحاولات لتقدير وحساب نسبة التوزيع اليابس إلى الماء ومن هؤلاء لونج Long (عام ١٧٤٢ م). ونتيجة لهذه المحاولات اتضح أن النسبة بين اليابس والماء هي ١ :٢,٨ أي بنسبة ٢٦٪ يابس إلى ٧٤٪ ماء. وفي ذلك الوقت لم تكن المناطق القطبية قد عرفت بعد. وبعد نحو قرن من الزمان تقريباً وفي سنة ١٨٣٧ م قام ريجود Regaud ببعض الحسابات المشابهة وانتهى إلى تقدير نسبة اليابس إلى الماء على النحو التالي ٢٦,٦٪: ٧٣,٤٪ على الترتيب.

وعلى العموم، فإننا حين ننظر إلى خريطة لتوزيع اليابس والماء حالياً سنجد أن ذلك التوزيع غير منتظم في نصفي الكرة، إذ أنه لا يتفق مع النسبة العامة للمساحات، المائية واليابسة على سطح الأرض. فإلى الشمال من الدائرة الاستوائية نجد أن متوسط نسبة الماء تبلغ ٦٠,٧٪ بدلاً من النسبة العام ٧٠,٨٪، أما إلى الجنوب من الدائرة الاستوائية نجد أن متوسط نسبة الماء تبلغ

٨٠,٦٪ ونتيجة لذلك فإننا نلاحظ أن ٤٣٪ من المسطحات المائية توجد في النصف الشمالي و ٥٧٪ في النصف الجنوبي للكرة الأرضية كما نجد أن نحو ٧٥٪ من يابس العالم يتركز إلى الشمال من الدائرة الاستوائية وخاصة حول المحيط المتجمد الشمالي، بينما يوجد منه ٢٥٪ إلى الجنوب من الدائرة الاستوائية.

ومن الدراسة التفصيلية لخصائص اليابس والماء وتوزيعها الجغرافي على سطح الكرة الأرضية نجد أن الامتداد الرأسي (السمك) للمسطحات المائية صغير جداً إذا ما قورن بسمك صخور كوكب الأرض فيبلغ متوسط سمك البحار والمحيطات ٣,٤ كيلو متر (٣،٤ ميلاً) أي ما يعادل ١ : ١٦٨٠ من متوسط نصف الكرة الأرضية. أما من حيث الامتداد الأفقي (التوزيع الجغرافي) للمسطحات المائية بالنسبة لتوزيع اليابس على سطح الأرض نجد أن جملة مساحة المسطحات المائية تبلغ نحو ٣٦١,٥٩ × ١٠^٦ كيلو متر^٢ (٣٦١ مليون كيلو متر مربع)، (١٤٩ مليون كيلومتراً مربع). وتبعاً لاختلاف التوزيع الجغرافي لليابس والماء في النصفين الشمالي والجنوبي للكرة الأرضية فإن مساحة المسطحات المائية في النصف الشمالي تبلغ نحو ١٥٤,٦٩٥ × ١٠^٦ كيلو متر مربع (١٥٥ مليون كيلو متراً مربعاً) ومن ثم تبلغ مساحة اليابس في هذا النصف نحو ١٠٠,٣٨١ × ١٠^٦ كيلو متر مربع (١٠٠ مليون كيلو متر مربع)، أما في نصف الكرة الجنوبي فإن مساحة المسطحات المائية تبلغ نحو ٢٠٦,٣٦٤ × ١٠^٦ كيلو متر مربع (٢٠٦ ميلون كيلو متر مربع)، بينما تبلغ مساحة اليابس في هذا النصف نحو ٤٨,٦١١ × ١٠^٦ كيلو متر مربع (٤٩ مليون كيلو متر مربع). وبناء على هذا الاختلاف الجوهري في توزيع كل من اليابس والماء على نصفي الكرة الأرضية، فقد ظهرت محاولة لتقسيم سطح الكرة الأرضية إلى نصفين بحيث يشتمل أحدهما على المساحة الكبرى من اليابس ويسمى بالنصف القاري أو اليابس Land Hemisphere والآخر على المساحة الكبرى من المسطحات المائية ويسمى «بالنصف المائي» Water Hemisphere (شكل رقم: ٢ ـ ٣).

ويمكن اعتبار النصف القاري بمثابة دائرة مركزها على الساحل الفرنسي بالقرب من بلدة كرواسيك Croisic عند مصب نهر اللوار (١٥، ٤٧ شمالاً، ٢٣٠ غرباً)، وتخترق خط جرنتش (خط الصفر الطولي) عند الدائرة العرضية ٤٢ جنوباً متضمنة قارة افريقيا وجزيرة مدغشقر. ثم تمر هذه الدائرة بين جزيرتي نيكوبار Nicobars وسومطرة إلى الشمال الشرقي مخترقة برزخ Krah عند الدائرة العرضية ١٠ شمالاً وتخترق شبه جزيرة الهند الصينية وتصل إلى هونج كونج ثم تخترق اليابان بحيث تقع نجازاكي في النصف القاري من الكرة الأرضية ومدينة طوكيو ضمن نصفها المائي. ثم تسير حدود هذه الدائرة بعد ذلك إلى أن تقطع خط طول ١٨٠ غرباً عند الدائرة العرضية ٤٢ شمالاً وتشتمل على كل من أمريكا الشمالية والنصف الشمالي من قارة أمريكا الجنوبية. وعلى الرغم من أنه يطلق على هذا النصف النصف القاري إلا أننا نجد أن مساحة الماء فيه ما تزال تفوق مساحة اليابس إذ تبلغ النسبة بينهما ٥٢,٧٪ إلى ٤٧,٢٪، أما النصف المائي فإن مساحة الماء فيه تبلغ ٩٠,٥٪، بينما تبلغ مساحة اليابس ٩,٥٪ فقط وتتمثل هذه النسبة في قارة استراليا وجزر اندونيسيا والنصف الجنوبي من قارة أمريكا الجنوبية ثم القارة القطبية الجنوبية والجزر المنتشرة في المسطحات المائية التي تتبع هذا القسم من وجه الأرض، والجدول الآتي يوضح نسب توزيع اليابس والماء.

هذا وينقسم اليابس إلى أربعة كتل قارية ضخمة هي أفريقية وأوراسيا (أوربا وآسيا) وإستراليا والأمريكتين، ويمكننا أن نضيف كتلة خامسة تتمثل في القارة القطبية الجنوبية (قارة انتاركتيكا) Antarctica. أما المسطحات المائية فتنقسم إلى ثلاثة محيطات ضخمة هي المحيط الهادي والأطلسي والهندي وتتصل ببعضها بواسطة فتحات واسعة. أما المحيط الجنوبي فيضم المسطحات المائية من المحيطات الثلاثة التي تقع إلى الجنوب من دائرة عرض ٦٠ جنوباً، أما المحيط المتجمد الشمالي فيمكن اعتباره بحراً وليس محيطاً، لصغر مساحته نسبياً.



نصف الكرة القاري



نصف الكرة المائي

(شكل رقم: ٢ـ٣) تقسيم الكرة الأرضية إلى نصفين: النصف القاري والنصف المائي.

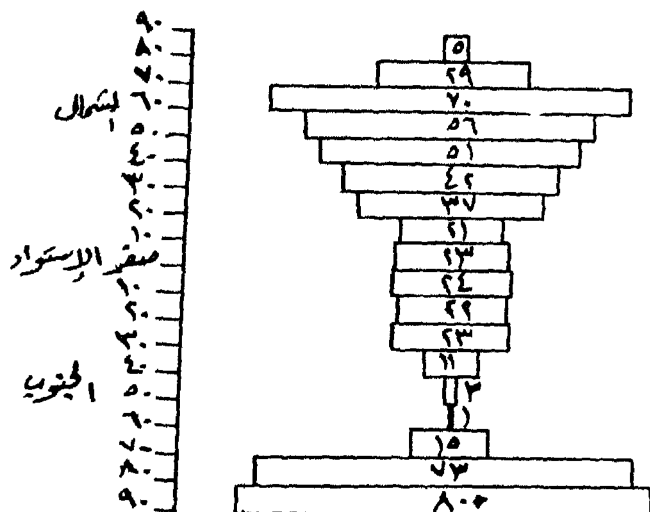
التـوزيـع	المساحة بملايين الكيلومترات٢			النسبة المئوية	
	اليابس	الماء	المساحة الكلية	يابس	ماء
مسطح الكرة الأرضية	١٤٥	٣٦٥	٥١٠	٢٩	٧١
نصف الكرة الشمالي	١٠٠	١٥٥	٢٥٥	٣٩	٦١
نصف الكرة الجنوبي	٤٩	٢٠٦	٢٥٥	١٩	٨١
نصف الكرة القاري				٤٧	٥٣
نصف الكرة المائي				٩،٥	٩٠،٥

وإذا قسمنا سطح الكرة الأرضية إلى نطاقات عرضية يشغل كل منها خمس دوائر عرضية (شكل رقم: ٣ ـ ٣)، فإننا نلاحظ أن توزيع اليابس والماء في النطاق الذي يقع بين الدائرتين العرضيتين ١٥ ، ٢٠ شمالاً يتشابه مع متوسط توزيع اليابس والماء على سطح الكرة الأرضية. وفي النطاق الذي يقع بين دائرتي عرض ٢٠، ٧٥ شمالاً نجد أن المسطحات المائية أقل بكثير من متوسط التوزيع العام للماء. وفيما بين دائرتي عرض ٤٥ ، ٧٠ شمالاً تزيد مساحة اليابس على مساحة الماء، فلا تصل مساحة الأخير إلى نصف مساحة الكرة الأرضية في هذه العروض وفي العروض القطبية يغطي الماء كل أجزاء سطح الأرض فيما بين ٨٥، ٩٠ شمالاً وتبلغ نسبة مساحة المسطحات المائية الواقعة بين دائرتي عرض ٨٠، ٨٥ شمالاً نحو ٢ ، ٨٥٪ من جملة مساحة الكرة الأرضية في هذه العروض. أما إلى الجنوب من ٣٥ إلى ٦٥ جنوباً حيث ينتهي اليابس الاسترالي والأفريقي فإن المسطحات المائية تغطي نحو تسعة أعشار مساحة الكرة الأرضية في هذه العروض. وفيما بين دائرتي عزض ٥٥، ٦٠ جنوباً لا يوجد سوى الماء إذ لا تصل مساحة اليابس في ذلك النطاق عن ١ ,٠٪ من جملة مساحة الكرة الأرضية في هذه العروض وتتمثل في مجموعة جزر ساندويتش الجنوبية South Sandwich. ويوضح الجدول الآتي التوزيع الجغرافي لليابس والماء في النصفين الشمالي والجنوبي للكرة الأرضية عند نطاقات من الدوائر العرضية يشغل كل منها خمس دوائر عرضية.

دائرة العرض	النصف الشمالي من الكرة الأرضية		النصف الجنوبي من الكرة الأرضية	
	نسبة الماء	نسبة اليابس	نسبة الماء	نسبة اليابس
٨٥ ـ ٩٠	١٠٠	-	-	١٠٠
٨٠ ـ ٨٥	٨٥,٣	١٤,٨	-	١٠٠
٧٥ ـ ٨٠	٧٧,١	٢٢,٩	١٠,٧	٨٩,٣
٧٠ ـ ٧٥	٦٥,٥	٣٤,٥	٣٨,٦	٦١,٤
٦٥ ـ ٧٠	٣٨,٧	٧١,٣	٣٩,٥	٢٠,٥
٦٠ ـ ٦٥	٦٩,٢	٦٩,٨	٩٩,٧	٠,٣
٥٥ ـ ٦٠	٤٥,٠	٥٥,٠	٩٩,٩	٠,١
٥٠ ـ ٥٥	٤٠,٧	٥٩,٣	٩٨,٥	١,٥
٥٠ ـ ٥٥	٤٠,٧	٥٩,٣	٩٨,٥	١,٥
٤٥ ـ ٥٠	٤٣,٨	٥٦,٢	٩٧,٥	٢,٥
٤٠ ـ ٤٥	٥١,٢	٤٨,٨	٩٦,٤	٣,٦
٣٥ ـ ٤٠	٥٦,٨	٤٣,٢	٩٣,٤	٦,٦
٣٠ ـ ٣٥	٥٧,٧	٤٢,٣	٨٤,٢	١٥,٨
٣٥ ـ ٣٠	٥٩,٦	٤٠,٤	٧٨,٤	٢١,٦
٢٠ ـ ٢٥	٦٥,٥	٣٤,٥	٧٥,٤	٢٤,٦
١٥ ـ ٢٠	٧٠,٨	٢٩,٢	٧٦,٤	٢٣,٦
١٠ ـ ١٥	٧٦,٥	٢٣,٥	٧٩,٦	٢٠,٤
٥ ـ ١٠	٧٥,٧	٢٤,٣	٧٦,٩	٢٣,١
صفر ـ ٥	٧٨,٦	٢١,٤	٧٥,٩	٢٤,١
صفر ـ ٩٠	٦٠،,٧	٣٩،,٣	٨٠،٩	١٩،١
نسبة الماء ٧٠،٨٪		نسبة اليابس ٢٩،٢٪		

هذا ويتسم سطح الأرض أيضاً من حيث توزيع اليابس والماء إلى نصفين أحدهما غربي والآخر شرقي. وفي النصف الغربي يسود وجود الماء الذي تصل نسبته إلى ٢ و٨١٪ ونسبة اليابس ٨ و١٨٪ وفي النصف الشرقي تقل نسبة الماء وتهبط إلى ١ و٦٢٪ بينما تزيد نسبة اليابس لتصل إلى ٩ و٣٧٪ من جملة مساحة الكرة الأرضية.

من هذا العرض العام لتوزيع اليابس والماء على سطح الكرة الأرضية نرى أن أعظم قسم من المسطحات المائية يوجد في جنوب الأرض وغربها، بينما يتركز أعظم قسم من الكتل القارية يقع في شمال الأرض وشرقها، كما يتضح من التوزيع عدة حقائق تستدعي التعليل. فتوزيع القارات والمحيطات لم يأتي اعتباطاً ولم يكن دائماً بنفس الصورة التي نراها عليها في الوقت الحاضر، بل أن توزيع اليابس والماء الحالي ما هو إلا دور من الأدوار الكثيرة التي مر فيها هذا التوزيع في العصور الجيولوجية المختلفة. وأولى الحقائق المرتبطة بهذا التوزيع هي تركز معظم اليابس في نصف الكرة الشمالي، على حين تتركز معظم المساحات المائية في النصف الجنوبي. وتنعكس هذه الحقيقة تماماً في المناطق القطبية، إذ يقع القطب الشمالي في منطقة حوضية بحرية تحيط بها كتل اليابس، بينما يقع القطب الجنوبي وسط كتلة من اليابس تحيط بها المياه من كل جانب، وهي القارة القطبية الجنوبية، أما الحقيقة الثانية فهي أن القارات تتخذ عادة ذلك الشكل القريب من المثلث قواعدها في الشمال ورؤوسها في الجنوب. وهذا ما نراه أوضح ما يكون في نصف الكرة الغربي أي في الأمريكتين، أما في النصف الشرقي من الكرة الأرضية نجد أن هذه الظاهرة أقل وضوحاً في أفريقيا وفي أوراسيا لأنها كتلة كبيرة الحجم، وهي مع ذلك تنتهي من ناحية الجنوب بأشباه جزر مثلثة الشكل، وبالمثل نجد المحيطات تتخذ شكلاً شبيهاً بالمثلثات، ولكن بعص القارات إذ نجد قواعدها في الجنوب ورؤوسها في الشمال. فالمحيط الجنوبي يمثل قاعدة عامة مشتركة لكل المثلثات المحيطية، وكذلك المحيط الأطلسي فهو أوسع ما يكون في الجنوب وكذلك يضيق المحيط الهادي شمالاً

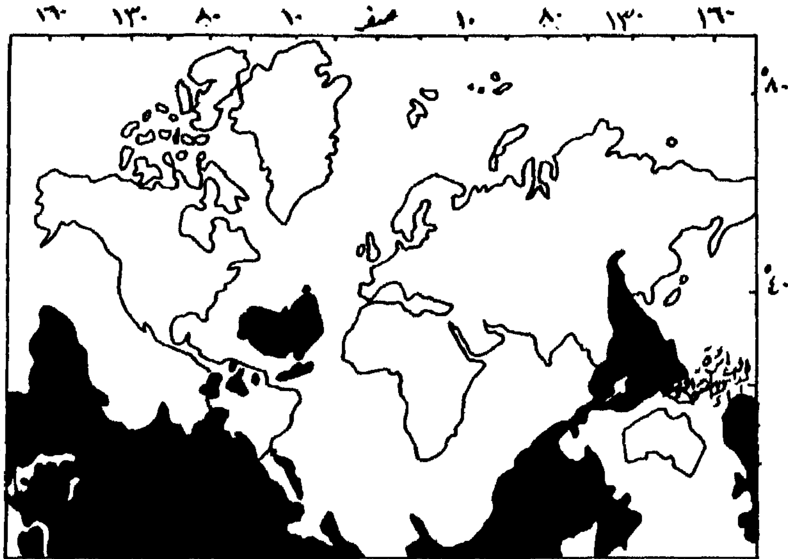


(شكل رقم: ٣ ـ ٣) نسبة توزيع اليابس والماء في نصفي الكرة الشمالي والجنوبي في نطاقات من الدوائر العرضية يشغل كل منها عشرة دوائر عرضية

عند جزر أولشيان ولكنه يبلغ أقصى اتساعه في قسمه الأوسط. والحقيقة الثالثة تنحصر في تقابل كتل اليابس والماء. إذ نجد تقريباً أن كل كتلة من اليابس يقابلها غالباً على الجانب المضاد أو المقابل من سطح الكرة الأرضية مساحة من المحيط، أي أن كل ارتفاع يقابله انخفاض (شكل رقم: ٤ـ ٣). وطبيعي أن يكون هناك بعض الشواذ، الذي لا يكسر القاعدة العامة، يتمثل في حالتين فقط هما كتلة بتاجونيا (جنوب الأرجنتين) التي تقابل قسماً يابساً من شمال الصين، واليابس النيوزيلندي الذي يقابل قسماً من اليابس شبه جزيرة أيبيريا. والحقيقة الرابعة والأخيرة تتمثل في ذلك الحوض العظيم الذي تشغله مياه المحيط الهادي (ثلث مساحة الكرة الأرضية) والذي يمثل ظاهرة خاصة وفريدة على سطح

الأرض. فهو يتميز عن غيره من المحيطات بأنه محاط بسلاسل جبلية حديثة إذا أخذنا في اعتبارنا أن حده الغربي يتمثل في أقواس جزر وليس في الساحل الشرقي لقارة أسيا.

وقد أثارت هذه الحقائق وغيرها التفكير لدى الباحثين لمحاولة تفسيرها بشتى الطرق، وهي التي أدت إلى ظهور كثير من النظريات لتفسير اختلاف التوزيع الجغرافي لليابس والماء ونشأة الأحواض المحيطية نفسها.



(شكل رقم: ٤ ـ٣) تقابل كل من اليابس والماء على سطح الأرض

نشأة الكتل اليابسة والمائية (القارات والمحيطات):

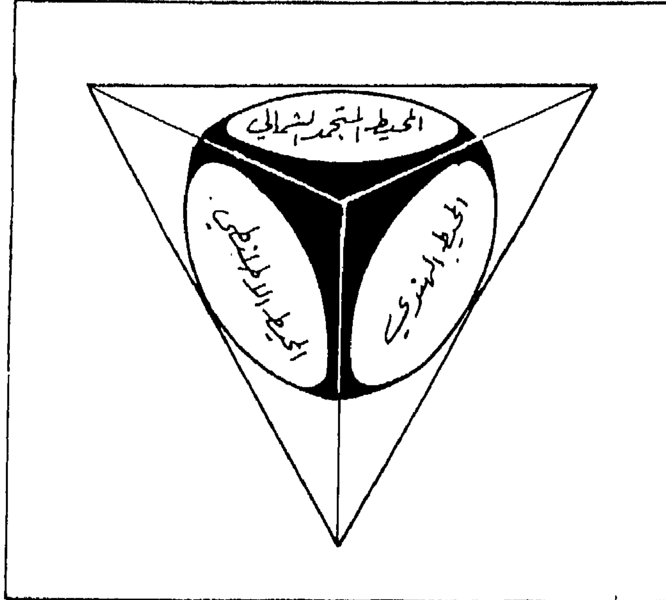
لقد شغلت فكرة نشأة الكتل المائية والأرضية واختلاف توزيعهما الجغرافي على سطح الكرة الأرضية أذهان القدماء، وظهر لهم كثير من الآراء والنظريات التي زادت عن خمسة عشرة نظرية مختلفة. ويدل تعدد تلك الآراء

والافتراضات على أنه لم يقبل منها أي رأي أو فرض بصورة نهائية.

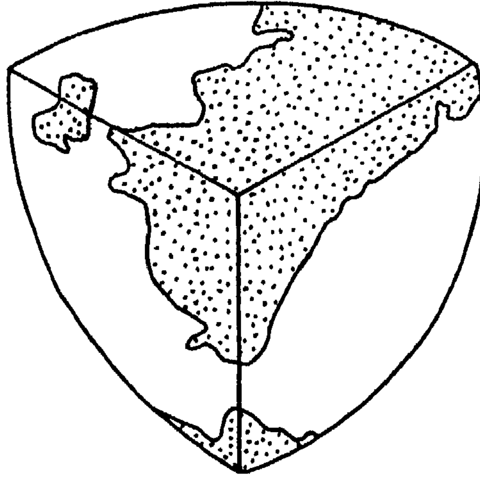
ومن الآراء القديمة التي طرحت لتفسير نشأت القارات والمحيطات الرأي الذي يعتقد أن كتل القارات قد تكونت حول عقد قديمة نشأت في جسم الكرة الأرضية أيام كانت في حالة غازية. واعتقد أنصار نظرية الكويكبات أن نشأة القارات والمحيطات ترجع إلى سقوط الذرات الصغيرة الصلبة على سطح الأرض في حالة تكوينها لم يكن بشكل منتظم في جميع الجهات مما أدى إلى وجود كتل بارزة (تمثلها القارات) يفصل بينها منخفضات واسعة (تشغلها المحيطات). إلا أن مثل هذه الآراء لم تتعرض إلى أن توزيع الكتل المختلفة من اليابس والماء كان وفق نظام معين.

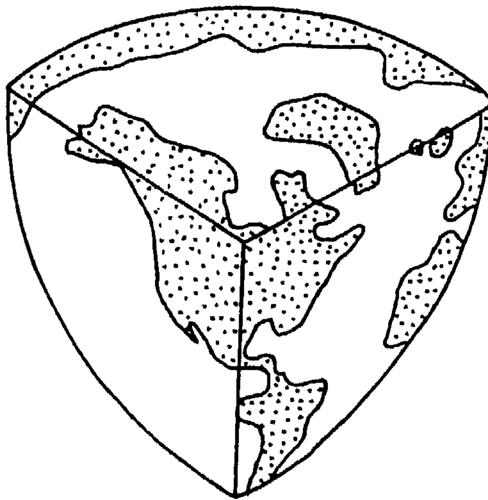
وظل الأمر كذلك حتى عام ١٨٤٥ م حين ظهرت النظرية التتراهيدية المشهورة Tetrahedral Theory التي تقدم بها لوثيان جرين Lowthian Green والتي يرى فيها أن توزيع القارات والمحيطات يتفق مع جوانب الهرم الثلاثي وسطوحه، إذا ما قام هذا الهرم المثلثي على أحد رؤوسه وذلك على اعتبار أن الهرم الثلاثي هو الجسم الذي يحتوي على أصغر حجم لأكبر مساحة سطحية. وتوصلت هذه النظرية إلى حقيقة أن باطن الأرض قد تعرض لانكماش نتيجة لانخفاض درجة الحرارة، فأدى ذلك إلى تكوين فراغ بين الباطن المنكمش والقشرة الخارجية للأرض، فكان لا بد لهذه القشرة أن تنثني وتتجعد وتميل إلى اتخاذ شكل الهرم الثلاثي بحيث تحتل مناطق اليابس أو القارات الأجزاء البارزة من الهرم أي على حوافه، في حين تشغل المحيطات أسطح الهرم الجانبية، فالمحيط (البحر) المتجمد الشمالي يحتل السطح العلوي للهرم الثلاثي، وتحتل سيبيريا وألسكا الجوانب العليا الخارجة له، كما تمتد قارتا أوربا وأفريقيا على حافته الوسطى، وعلى حواف الجانب الآخر للهرم توجد الأمريكتين ثم آسيا وأستراليا، أما القارة القطبية الجنوبية فتحتل رأس هذا الهرم. (شكل رقم: ٥ ـ ٣، ٦ ـ ٣).

ويصعب تصور فكرة التوزيع الحقيقي لليابس والماء مع الشكل الوهمي الذي افترضته النظرية التتراهيدية، على الرغم من دفاع جريجوري Gregory الذي يعد من أكبر أنصار هذه النظرية، فهو يقول أن الجسم الذي يفقد حرارته ينكمش ويتقلص أي يقل حجمه دون أن تنقص مساحته وسرعان ما يتخذ شكلاً يتناسب مع عمليات انكماش مواده. ويعد الشكل التتراهيدي (وهو هنا ليس هرماً مثلثاً تماماً ولكنه شكلاً بيضاوياً) أقرب هذه الأشكال حيث يتمثل فوقه أكبر مساحة ممكنة لأقل حجم ممكن. ولكن من الملاحظ، رغم دفاع جريجوري، أن هذه النظرية لا تتفق في جوهرها مع الأبحاث والمعلومات الحديثة عن طبيعة عمليات توازن القشرة الأرضية، لأن الكرة الأرضية لو اتخذت شكل الهرم الثلاثي نتيجة انكماشها في مراحل نشأتها الأولى، فإن عامل التوازن كفيل بأن يعيد إليها شكلها الكروي المستدير المنبعج نسبياً بالمناطق الاستوائية تبعاً لدوران الأرض حول محورها ولعامل التوازن. كما أن قوانين الطبيعة لا تسمح للأرض بأن تتخذ أي شكل آخر غير الشكل الكروي ـ كما ذكرنا سابقاً.



(شكل رقم: ٥ـ ٣) الشكل التتراهيدي (نظرية لوثيان جرين). لاحظ امتداد يابس القارات على حواف ورؤوس الهرم الثلاثي وامتداد المسطحات المائية فوق أسطحه.



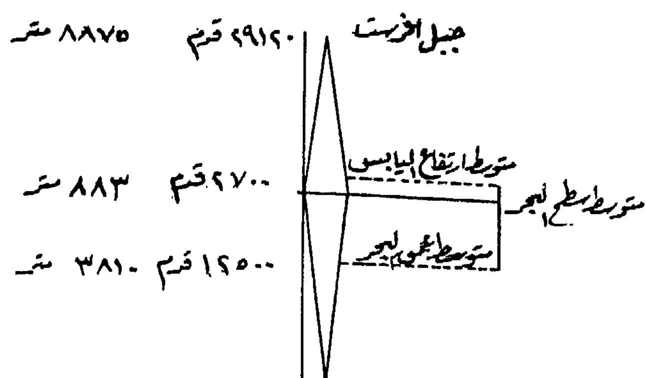


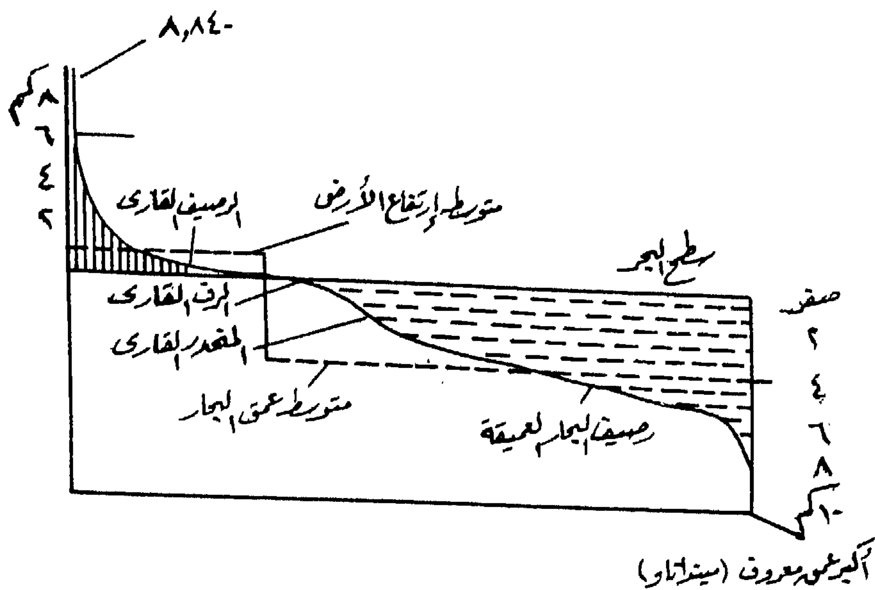
(شكل رقم: ٦ ـ ٣) توزيع اليابس والماء حسب نظرية جرين

ومن النظريات التي تبحث في تفسير اختلاف التوزيع الجغرافي لليابس والماء تلك النظرية التي تقدم بها جورج داروين وأوسمند فيشر Osmond Fisher وتتلخص ـ كما ذكرنا في الفصل الأول ـ في أن الحوض العظيم المساحة الذي يشغله المحيط الهادي قد انسلخت مادته لتكون كتلة القمر (تابع الأرض). ولهذه النظرية أهمية خاصة في أنها تفسر عدم انتظام شكل الأرض، كما أنها تقدم تعليلاً معقولاً لنشأة البحار والمحيطات الأخرى. إذ تذكر النظرية أنه عند انسلاخ قاع المحيط الهادي وانفصال كتلة عظيمة السمك من الصخور البازلتية، حدثت حركات تصدع هائلة في الصخور الجرانيتية المجاورة، وخاصة الأرض المواجهة للمحيط الهادي. وبناء على ذلك فإنه سرعان ما أخذت جوانب هذه الشقوق في الاتساع بفعل دوران الأرض حول محورها وحول الشمس. وبعد ذلك بدأت هذه المناطق تأخذ شكلاً مقعراً نتيجة لتعرض الأرض للبرودة التدريجية مكونة الأحواض المحيطية على الوجه الآخر من الكرة الأرضية. وبذلك يمكن القول تبعاً لهذه النظرية أن الأحواض المحيطية قد تكونت خلال مراحل تكوين كوكب الأرض نفسه وليس بعد أن تكونت قشرته الأرضية وانفصلت أجزائها لتكون القارات.

ومن الحقائق الهامة في التوزيع الحالي لليابس والماء أن أعماق المحيطات أعظم ضخامة بكثير من ارتفاع اليابس، فبينما يبلغ متوسط ارتفاع اليابس نحو ٨٠٠ متر، يبلغ متوسط عمق المحيطات ٣٨٠٠ متر. كما تقع أكبر الارتفاعات فوق القارات غالباً قرب الساحل، كما أن الأعماق الكبيرة لا توجد في أواسط المحيطات وأبعد ما يكون عند الشاطىء. بل توجد غالباً قرب الرف القاري وبمحاذاة المرتفعات القارية الشاهقة، كما يظهر جلياً على خريطة العالم قرب الساحلين الآسيوي والأمريكي للمحيط الهادي.

وقد استطاع سيرجون مري Sir John Murray أن يرسم قطاعاً يوضح المستوى العام لكل من القارات والمحيطات السابق ذكره (شكل رقم: ٧ ـ٣) وقد توصل مري إلى ذلك عن طريق المعلومات التي جمعها عن مساحة سطح





(شكل رقم: ٧ـ ٣) المنحنى الهيبسوجرافي لأعماق المحيطات ويابس القارات.

الأرض في كل مستوى من المستويات الرئيسية المختلفة وحصل منها على النسبة المئوية لكل من هذه المستويات بالنسبة لمساحة اليابس التي يلخصها الجدول الآتي:

الارتفاعات (قدم)	المساحة (مليون ميل٢)	النسبة المئوية (بالنسبة لمساحة الكرة الأرضية)
أكثر من ١٢٠٠٠	٢	١
٦٠٠٠ ـ ١٢٠٠٠	٤	٢
٣٠٠٠ ـ ٦٠٠٠	١٠	٥
٦٠٠ ـ ٣٠٠٠	٢٦	١٣
صفر ـ ٦٠٠	١٥	٨
مجموع مساحة اليابس	٥٧	٢٩

وتعتبر مستويات المناسيب السابقة ظاهرة هامة من ظواهر سطح الأرض التي تؤيد أن الكتل التي تتكون منها القارات أي كتل السيال ليست سوى أجسام خفيفة تطفو فوق مادة أثقل منها، هي مادة السيما، وأن كتل هذه القارات يعلو مستواها العام عن مستوى السيما كما أن المواد الجرانيتية (السيال) التي تتألف منها الكتل القارية لا تؤلف كتلة متصلة بل على العكس تكون أجزاء منفصلة يبعد بعضها عن بعض. وطبقاً لما عرفناه عن نشأة وتطور الكرة الأرضية فإن ترتيب كثافاتها أثناء الانتقال بالتدريج من الحالة الغازية إلى الحالة السائلة فالحالة الصلبة يجب أن يؤدي إلى تكوين قشرة سطحية صلبة من المواد الخفيفة الكثافة (أي من السيال) متصلة الأجزاء تحيط بالأرض. فإذا كان الحال كذلك فإننا نتساءل كيف استطاعت مادة السيال التي تتألف منها كل القارات أن تتجمع

في تلك المساحات المخدودة لتكون القارات؟ وكيف نعلل إخفاء هذه المادة من مناطق المحيطات وبصفة خاصة من منطقة المحيط الهادي؟.

الأعماق (قدم)	المساحة (مليون ميل٢)	النسبة المئوية (بالنسبة لمساحة الكرة الأرضية)
صفر ـ ٦٠٠	١٠	٥
٦٠٠ ـ ٣٠٠٠	٧	٣
٣٠٠٠ ـ ٦٠٠٠	٥	٢
٦٠٠٠ ـ ١٢٠٠٠	٢٧	١٥
١٢٠٠٠ ـ ١٨٠٠٠	٨١	٤١
أكثر من ١٨٠٠٠	١٠	٥
مجموع مساحة الماء	١٤٠	٧١

ولعل أبسط النظريات التي تفسر اختفاء جزء من مادة السيال التي تكون القشرة الأرضية تلك النظرية التي تقول أن هذا الجزء قد انسلخ من الأرض في الوقت الذي تصلبت فيه قشرتها السطحية ليكون القمر، وتستند هذه النظرية على أن المادة التي يتكون منها جسم القمر تكفي لتكوين طبقة تملأ فراغ الأحواض التي تشغلها المحيطات بسمك يصل إلى ٦٠ كيلو متراً. والاعتراض الذي يمكن توجيهه لهذه النظرية يختص بسمك طبقة المادة التي تفترض النظرية انتزاعها من كتلة الأرض كما يختص بكفاءة المواد التي يتكون منها القمر. فبالنسبة للسمك فإنه يفوق كثيراً سمك القشرة الجرانيتية التي تتألف منها كتل القارات التي تتراوح بين ١٥ ,٤٠ كيلو متراً كما ذكرنا سابقاً، أما بالنسبة لكثافة مواد القمر فتبلغ في المتوسط ٣,٦٤ وهي كثافة تفوق كثيراً كثافة مادة السيال التي عرفناها وهي ٢,٧. ولكن يحتمل، كما يردد أنصار هذه النظرية أن الجزء الذي سلخ من

الكرة الأرضية ليكون القمر لم يقتصر على مادة السيال فقط بل اشتمل أيضاً على أجزاء أخرى من مادة السيما المرتفعة الكثافة.

وهناك رأي يفسر تجمع مادة السيال في جهات محدودة من سطح الأرض عن طريق تزحزحها عن موضعها لأي عامل من العوامل، وبناء على ذلك فقد ظهرت نظريات عديدة تؤمن بفكرة انفصال وزحزحة الكتل القارية انتقالاً يبعدها عن بعضها مرة ويقربها من بعضها مرة أخرى، ولكنها لا تتفق في الطريقة التي انفصلت بها هذه الكتل. فالبعض يذكر أنها انفصلت نتيجة لهبوط أجزاء من اليابس تحت مستوى سطح البحر كانت تصل بينها من قبل. وبناء على ذلك فإن المحيط الهندي يقع فوق منطقة يابسة كانت تصل استراليا والهند بقارة افريقيا ثم هبطت وغمرتها مياه المحيط، وكذلك الحال بالنسبة للمحيط الأطلسي، أي أنه يقوم فوق كتلة هابطة من اليابس كانت تصل افريقية بأمريكا الجنوبية وتربط أوروبا بأمريكا الشمالية. ولكن لا يتفق هذا الرأي كما يذكر بعض العلماء مع المعلومات الحديثة التي عرفناها عن طبيعة المواد التي تتكون منها الكتل اليابسة والمواد التي يتألف منها قاع المحيطات. وهي المعلومات التي بنيت على أساسها نظرية التوازن. ويفسر هؤلاء العلماء انفصال القارات تفسيراً يتفق مع هذه النظرية في أن كتل القارات قد انفصلت نتيجة لتكسرها ثم تزحزحها بعضها عن بعض في حركة أفقية. ومن أنصار الرأي الأخير فجنر Wegner وهولمز Holmes، وسوف نتعرض لدراسة رأي كل منهما بالتفصيل عند بحث أسباب حركات القشرة الأرضية.

وقبل أن نختتم الحديث في هذا الموضوع يجب أن نشير إلى أن سطح الأرض قد يبدو لنا سطحاً ثابتاً وأن ما حولنا من ظواهر طبيعية خالدة أزلية منذ نشأة كوكب الأرض، ولكن لو أمعنا النظر إلى ما يحيط بنا من عوامل نجد أن هناك تغييراً حثيثاً مستمراً في وجه الأرض وأن لكل عامل من عوامل الطبيعة أثره في إحداث هذا التغيير. وهو ما سنناقشه في الفصول القادمة.

الفصـل الـرابـع

مكونات ومواد قشرة الأرض

مكونات ومواد قشرة الأرض

تتكون القشرة الصلبة للأرض من مواد مختلفة الأنواع يتركب معظمها من تجمعات معدنية أو زجاجية تعرف بالمواد غير العضوية Inorganic تمييزاً لها عن البعض الآخر من المواد التي تتكون من بقايا تحلل مواد عضوية Organic حيوانية أو نباتية. ولقد جاءت هذه القشرة التي تحيط بالأرض نتيجة مؤثرات عديدة تعرضت لها خلال فترات زمنية طويلة جداً تعرف بالأزمنة الجيولوجية، وتمثل في مجموعها عمر هذه الأرض. ولا شك أن كوكب الأرض كان موجوداً كجسم مستقل بذاته، كما عرفنا، قبل هذه الأزمنة الجيولوجية بوقت طويل. ومهما يكن من أمر فإن الأزمنة الجيولوجية للأرض تبدأ منذ الوقت الذي تكونت فيه أقدم المواد المعروفة في القشرة الصلبة للأرض، وتبعاً للنتائج المستمدة من دراسة حفريات الكائنات التي كانت تعيش خلال فترات التاريخ الطويل في الطبقات الصخرية المختلفة من القشرة الأرضية، وتقدير عمر هذه الطبقات عن طريق حساب النشاط الإشعاعي، تمكن الجيولوجيون من تقسيم مواد القشرة الأرضية إلى مجموعات مختلفة حسب عمرها أو الأزمنة التي تكونت فيها. ومن ثم أجمع الجيولوجيون على تقسيم تاريخ الكرة الأرضية إلى أربعة أزمنة (أحقاب) Ears هي الزمن الأركي (الابتدائي أو ما قبل الكمبري) وهو أقدمها، ثم زمن الحياة القديمة (الباليوزوي أو الزمن الأول) ثم زمن الحياة الوسطى (الميزوزوي) ثم أخيراً زمن الحياة الحديثة (الكاينوزوي) وينقسم إلى قسمين هما: القسم الثلاثي والقسم الرباعي. وينقسم كل زمن من هذه الأزمنة إلى عدة أقسام ثانوية تعرف بالعصور Periods التي تنقسم بدورها إلى عهود Epochs ثم

جدول الأزمنة والعصور الجيولوجية

الزمن		العصر	المهد	فترة كل عصر (سنة)	العمر (مليون سنة)	الحياة المميزة
زمن الحياة الحديثة (الكاتيوزوى Cenozoic	القسم الرابع Quaternary	الهولوسين	H olocene	١٠,٠٠٠		عصر الجليد في أوربا
		البليستوسين	Pleistocene	٢٠٠٠٠٠٠	٢	وعصر الإنسان الحجرى
	الزمن الثالث (Tertiary)	البليوسين	Pliocene	٣٠٠٠٠٠٠	٥	بدء ظهور الإنسان علي الأرض
		الميوسين	Miocene	١٨٠٠٠٠٠٠	٢٣	الثدييات الكبرى – حركة الالتواءات الالبية
		الاوليجوسين	Oligocene	١٥٠٠٠٠٠٠	٣٨	بدء ظهور الحياة الحديثة
		الأيوسين	Eocene	١٦٠٠٠٠٠٠	٥٤	استمرار وجود الثعابين والسحالي المختلفة
		الباليوسين	Paleocene	١١٠٠٠٠٠٠	٥٦	

تابع

الزمن	العصر	المدة	العمر	الأحداث
الزمن الحياة الوسطى (الميزوزوى) Mesozoic	الكرتياسى (العصر الطباشيرى) Cretaceous	٧١ مليون	١٣٦	صخور الطباشير
	الجوراسى Jurassic	٥٤ مليون	١٩	عصور الزواحف بدء ظهور أنواع الحياة الوسطي (زواحف عملاقة)
	الترياسى Triassuc	٣٥ مليون	٢٢٥	
زمن الحياة القديمة (الزمن الأول) الباليوزوى Paleozoic	البرمى Permian	٥٥ مليون	٢٨٠	ظهور الزواحف واندثار الأنواع القديمة
	الفحمى (كربونى) Carboniferous	٦٥ مليون	٣٤٥	عصر الفحم الحجرى
	الديفونى Devonian	٥٠ مليون	٣٩٥	عصر الأسماك.
	السيلورى Silurian	٣٥ مليون	٤٣٠	بدء ظهور الاسماك
	الاوردوفيشى Odeovician	٧٠ مليون		ظهور الزنواع اللافقرية
	الكمبرى Camberian	٧٠ مليون	٥٧٠	
زمن ماقبل الكمبرى precanberian	ماقبل الكمبرى الأعلى	مليون سنة ٠,٣ - ٠,٤	بليون سنة ٠,٩-١,٠	معظم الصخور نارية أو متحولة وخالية من الحفريات
	ماقبل الكمبرى الأوسط	٠,٦-٠,٨	١,٥-١,٨	
	ماقبل الكمبرى الأسفل	٠,٩-١,٠	٢,٤-٢,٨	
الزمن الأركى Archaegoic (الابتدائى)	أقدم عمر للصخور		٣,٥+٠,٠١	
	اكتمال الارسال علي الأرض		٤,٦-٤,٧	
	عمر الأرض		١٧-١٨	

(شكل رقم : ١ ـ ٤) الساعة الجيولوجية لتوضيح الأزمنة والعصور الجيولوجية

(شكل رقم: ٢ ـ ٤) تأريخ الأرض وأزمنتها النسبية والمطلقة

تنقسم العهود إلى نطاقات Zones. والجدول التالي يبين التقسيم التاريخي الجيولوجي لقشرة الأرض من أزمنة وعصور وأهم ما يتميز به كل زمن وعصر من أحداث جيولوجية وحفريات حيوانية ونباتية. وكذلك طول الفترة الزمنية التي استغرقها كل عصر (يبدأ من أسفل)، (شكل رقم: ١ ـ ٤، ٢ ـ ٤).

والمواد غير العضوية أو ما يعرف بالصخور هي التي تعنينا في دراسة تركيب القشرة الأرضية، وكل مكوناتها أساسها ذرات من العناصر الكيميائية. ومن نتائج الدراسات التحليلية الكيمائية لصخور قشرة الأرض، أمكن التعرف على ما يقرب من ثمانية وتسعين عنصراً كيميائياً في القشرة الأرضية فبعضها يوجد بنسبة مرتفعة بينما البعض الأخر نادر الوجود. وعلى الرغم من هذا التفاوت فإن هناك تسعة عناصر فقط تكون ما يقرب من ٩٩٪ من المعادن المعروفة التي تدخل في تركيب الصخور. بينما جميع العناصر الأخرى تكون أقل من ١٪ ومن بينها الذهب والنحاس والرصاص والزنك وغيرها. والجدول التالي يوضح النسبة المئوية للعناصر الموجودة بالقشرة الأرضية.

العنصر	النسبة ٪	العنصر	النسبة ٪
١ ـ أكسجين	٤٦,٧١	٧ ـ بوتاسيوم	٢،٥٨
٢ ـ سيليكون	٢٧,٦٩	٨ ـ مغنيسيوم	٢،٠٨
٣ ـ الومنيوم	٨,٠٧	٩ ـ تيتانيوم	٠،٦٢
٤ ـ حديد	٥,٠٥	١٠ ـ ايدروجين	٠،١٤
٥ ـ كالسيوم	٣,٦٥		
٦ ـ صوديوم	٢,٦٥	المجموع	٩٩،٢٤

ونلاحظ من الجدول السابق أن عنصر الأكسجين هو أكثر العناصر وجوداً على الإطلاق غير أن هذا لا يعني انتشاره حراً في القشرة الأرضية فهو في الواقع يوجد متحداً مع غيره من العناصر ليكون مركبات كيميائية تعرف بأكاسيد العناصر. ولما كان السليكون يلي الأكسجين في ارتفاع نسبة وجوده في القشرة الأرضية فليس من المستغرب أن يكون أكسيد السليكون (السيليكات = الرمل) وغالباً ما يسمى بالكوارتز، هو أكثر أنواع المركبات الكيمائية شيوعاً في القشرة الأرضية.

والمركبات الكيميائية بشتى صورها والناتجة من اتحاد العناصر بفعل العوامل الطبيعية تعرف باسم المعادن وهي التي تتجمع لتكون الصخور المختلفة التي تتركب منها القشرة الأرضية. والمعادن الشائعة المكونة للصخور هي تلك المركبات الثابتة للعناصر الأكثر وجوداً. ولما كانت الصخور خليطاً من معادن مختلفة كان لا بد من دراسة المعادن المكونة لها.

المعادن Minersls:

يمكن تعريف المعدن على أنه كل مادة متجانسة تكونت في الطبيعة، وتحت عوامل لم يشترك فيها نبات أو حيوان. ويقصد بالتجانس أن يكون كل جزء من المادة متشابهاً تمام التشابه كيميائياً وطبيعياً في جميع خواصه مع كل جزء آخر وبناء على ذلك فمعظم المعادن عبارة عن مركبات كيميائية، أي من اتحاد عنصرين أو أكثر، مثل الجبس والهاليت (الملح الصخري) وغيرها، إلا أن قليلاً منها يوجد في حالته العنصرية، أي من عنصر واحد، مثل الذهب والفضة والنحاس.

صفات وخصائص المعادن:

يوجد في القشرة الأرضية نحو ٨٠٠ معدن لكل معدن منها صفات خاصة

به تميزه عن باقي المعادن، على أنه قد تشترك عدة معادن في أكثر من صفة خاصة. وعموماً تتميز المعادن بخاصتين أساسيتين هما: التركيب الكيميائي والشكل البلوري، وبعض الخواص الثانوية أو ما يعرف بالخصائص الطبيعية التي تساعد على تمييز المعادن بعضها عن بعض.

أ ـ التركيب الكيميائي:

تنقسم المعادن على أساس تركيبها إلى عدة مجموعات هي:

١ ـ الأكاسيد مثل الكوارتز Quartz (ثاني أكسيد السيليكون) والهيماتيت والليمونيت (أكاسيد الحديد).

٢ ـ الكبريتات: مثل الجبس والانهيدريت (كبريتات الكالسيوم).

٣ ـ الهالوجينيات: مثل الهاليت (كلوريد الصوديوم أو ملح الطعام).

٤ ـ الكبرتيدات: مثل الجالينيا (كبريتيد الرصاص).

٥ ـ الفوسفات: مثل الأباتيت.

٦ ـ الكربونات: مثل الكالسيت (كربونات الكالسيوم) الدولوميت (كربونات كالسيوم ومغنسيوم).

٧ ـ السليكات: مثل الفلسبارات (الأرثوكليز، البلاجيوكليز)، والبيروكسينات (الأوجيت)، والأمفيبولات (الهورنبلند) والميكا (موسكوفيت، البيوتيت)، والأوليفنيات (الأوليفين).

ب ـ الشكل البللوري للمعادن:

المعادن المتبلورة تكون عادة عبارة عن أجسام صلبة منتظمة الشكل ومحدودة بواسطة أوجه مسطحة الزوايا وتركيبها الداخلي عبارة عن مجموعة من الذرات أو الجزئيات الدقيقة جداً مرتبة بنظام خاص يختلف من معدن لآخر. وتعرف هذه الأشكال التي تتبلور عليها المعادن المختلفة بالبللورات، وقبل

عملية التبلور قد تكون هذه الجزئيات في حالة حركة دائمة حول بعضها البعض في حالة السوائل، وقد تتحرك بسرعة بينما تكون المسافات بينها كبيرة نسبياً في حالة الغازات، وإذا حدث وتغيرت الأحوال المحيطة السائدة، كأن تنخفض درجة الحرارة أو يزداد التبخر فإن السوائل أو الغازات قد تتحول إلى أجسام صلبة، وفي هذه الحالة فإن قوة رابطة تجمع الجزئيات الدقيقة في كتلة متماسكة بحيث تكون مرتبة بشكل منتظم وتسمى العملية التي ينتج عنها ترتيب وتنظيم الجزئيات في مثل هذه الكتلة بعملية التبلور Crystallization. وبصفة عامة يمكن تجميع البللورات المعروفة في سبعة مجموعات مختلفة تسمى بأنظمة البللورات وهي (شكل رقم: ٣ ـ ٤) نظام المكعب، نظام الرباعي، نظام الثلاثي، نظام السداسي، نظام المعين، نظام الميل الواحد، ونظام الثلاثة ميول. وتتميز كل مجموعة أو نظام من هذه الأنظمة بصفات محاورها البللورية Crystallographic Axes وهي عبارة عن خطوط وهمية تمر بمركز البللورة وتختلف أطوالها من نظام لأخر، كما تكون متعامدة أو غير متعامدة مع بعضها البعض، وعدد هذه المحاور ثلاثة في كل الأنظمة ما عدا النظام السداسي الذي يوجد به أربعة محاور. ويشتمل كل نظام أيضاً في عدد من الفصائل بين ٢ و ٧ بحيث وجد أن عدد هذه الفصائل في كل الأنظمة لا يزيد عن ٣٢ فصيلة.

جـ ـ الخصائص الطبيعية:

وجد أن لكل معدن مجموعة من الصفات الطبيعية التي تميزه عن غيره من المعادن. وأهم هذه الصفات هي الصلابة، اللون، الثقل النوعي، البريق، التشقق، المكسر والمخدش.

صلابة المعدن Hardness: يقصد بها قدرة المعدن على مقاومة الخدش أو الحك، وقد اتفق على عشر درجات ثابتة للصلابة تتميز كل درجة منها بمعدن معين، وتتدرج من المعادن الأقل صلابة إلى المعادن الشديدة الصلابة وهي:

فلوريت	المكعب
كوارتز	السداسي
زركون	الرباعي
أوليفين	المعيني المتعامد
ارثوكلاز	احادي الميل
ألبيت	ثلاثي الميل

(شكل رقم: ٣ ـ ٤) الأنظمة المختلفة لبللورات المعادن

(١) التلك، (٢) الجبس، (٣) الكالسيت، (٤)الفلوريت، (٥) الأباتيت، (٦) الأثوكلاز، (٧) الكوارتز، (٨) التوباز، (٩)الكوراندوم، ١٠ ـ الماس. وإذا أريد معرفة صلابة أي معدن اختبرناه بالظفر أو بالمبراه، لمعرفة مركزه من المعادن الأخرى (المعدن الأول والثاني يمكن خدشهما بالظفر، أما المعادن من السابع حتى العاشر فلا تؤثر فيها المبراة). ثم تجرب في سطحه المعادن القريبة منه حتى نحدد مركزه بين ما ينخدش به وما يخدشه. فمثلاً معدن البابريت يخدش الأرثوكلاز (الفلسبار البوتاسي) وينخدش بالكوارتز فصلابته تقع بين الاثنين أي ٦،٥. وتوضع المعادن التسعة الأولى من المعادن العشرة في علبة مقسمة تعرف بمقياس موهس Mohs' Scale of Hardness على اعتبار أن الماس هو أصلب المعادن جميعها ولذلك فهو يستخدم في خدش أو قطع أي معدن آخر.

لون المعدن Colour: خاصية لا يمكن الاعتماد عليها كثيراً لتمييز أغلب المعادن، ذلك لأنه قد نجد في كثير من الأحيان أن يكون للمعدن الواحد أكثر من لون، فمثلاً معدن الهورنبلند لونه أخضر مائل إلى السواد. كما قد يكون للمعدن الواحد عدة أصناف يتميز كل منها بلون معين ومثال ذلك الأصناف المختلفة لمعدن الكوارتز.

الثقل أو الوزن النوعي Specifis Gravity: هو عبارة عن النسبة بين وزن حجم معين من المعدن لحجم مساو له من الماء المقطر في درجة حرارة ٤ درجة مئوية. وتختلف المعادن في ثقلها فبعضها ثقيل والآخر خفيف، ويتراوح هذا الوزن للمعادن بين ١ ـ ٢٣ جرام/سم^{٣}، إذ يبلغ الوزن النوعي لمعدن الكبريت ٢ جرام/سم^{٣} والثقل النوعي للحديد ١٩ جرام/سم^{٣} بينما يعتبر متوسط الثقل النوعي للمعادن كلها في القشرة الأرضية ٢,٧ جرام/سم^{٣}. ونظراً لأن الفرق في الثقل النوعي قد يكون صغيراً جداً فيجب تحديد الثقل النوعي للمعدن بكل دقة.

بريق المعدن ولمعانه Luster: يعبر به عن مقدار الضوء المنعكس من

سطح المعدن ونـوع هذا الضوء فالبريق ضعيف أو معتم إذا كان الضوء المنعكس منه قليلاً وهو متوسط ثم قوي متلألىء إذا كان مقدار الضوء كبيراً. وهناك عدة أنواع من البريق، ويتميز كل معدن بنوع معين منها، فيقال أن بريق هذا المعدن زجاجي أو فلزي أو صدفي أو لؤلؤي أو حريري أو ماسي أو صمغي.

تشقق المعدن Cleavage: وهو قابلية بعض المعادن لكي تنفصل أو تتشقق في اتجاهات معينة، بحيث تكون الأسطح الناتجة عن هذا التشقق أسطح ملساء تقريباً تسمى أسطح التشقق. وقد تكون هذه الخاصية قوية في بعض المعادن كما في معدن الميكا، وقد تكون ضعيفة كما في بللورات الماس التي تتشقق بصعوبة. ويختلف عدد اتجاهات التشقق في كل معدن عن الآخر، فعددها مثلاً في الميكا ١، بينما في مجموعتي السيلوات والامفيولات ٢، وفي الكالسيت ٣.

مكسر المعدن Fracture: هو الشكل الذي يكون عليه سطح المعدن عند كسره صناعياً بآلة حادة، فقد يكون مثلاً خشناً أو غير مستو أو محارباً أي في خطوط مقوسة متوازية مثل معدن الكوارتز.

مخدش المعدن Streak: هو لون مسحوق أو بودرة المعدة إذا خش بمبراة مثلاً أو بواسطة حك المعدن على لوحة خاصة مربعة تعرف باسم لوحة المخدش، ويعتبر لون مسحوق المعدن أكثر فائدة في تمييز المعدن من اللون الأصلي للمعدن. فمثلاً معدن الهيماتيت وهو أسود اللون مخدشه أحمر، ومعدن البيريت أصفر اللون مخدشه أسود مخضر.

وهناك بعض الخواص الطبيعية الأخرى التي قد تتميز بها المعادن ولو أنها قليلة الأهمية في المعادن الأخرى مثل التفسفر Phosphorescence وهي أن تضيء المعادن إذا احتك بعضها ببعض أو إذا وضعت في مكان مظلم مثل الكوارتز، وكذلك الملمس Touch كمعدن التلك مثلاً ملمسه كالصابون.

وبعد أن تعرفنا على العناصر الرئيسية التي تتركب منها المعادن المتباينة تبعاً لاختلاف خصائصها الكيميائية والطبيعية والتي تتألف منها الصخور المختلفة، يحسن أن نسرد هنا وصفاً لأهم المعادن الشائعة في صخور القشرة الأرضية. ويمكن القول أنه على الرغم من أن المعادن المعروفة يزيد على ٨٠٠، إلا أننا نستطيع أن نذكر أن التركيب المعدني لأغلب الصخور المكونة للقشرة الأرضية يتمثل في حوالي عشرة معادن تقريباً هي: الكوارتز، الكالسيت، أكاسيد الحديد، الجبس، الملح، الفلسبار، الميكا، الهورنبلند، الأوجيت، الأوليفين. بالإضافة إلى بعض آخر من المعادن وإن كانت قليلة الوجود إلا أن أهميتها ترجع إلى شيوع استعمالها مثل الذهب والماس والفضة والنحاس والجرافيت والكبريت.

الكوارتز: يتركب الكوارتز كيميائياً من ثاني أكسيد السليكيون (يسميه العرب المرو). ويتبلور عادة في أشكال منشورية تنتهي باهرامات سداسية ولا يتشقق ولكنه سهل الكسر ومكسره محاري صلابته ٧ وثقله النوعي ٢,٦٥ جرام/سم^{٣}، شفاف ولا لون له وبريقه زجاجي ولا يتأثر بالأحماض. والكوارتز من أكثر المعادن شيوعاً في صخور الأرض، إذ يوجد في الصخور النارية التي تجمدت من مواد معدنية مصهورة وهو بذلك معدن أساسي في صخر الجرانيت. كما يوجد في عروق تقطع الصخور النارية والمتحولة وتشتمل على بعض المعادن الفلزية كالذهب والرصاص، وكذلك يوجد في ذرات مختلفة الحجم وهي الرمال الناتجة عن تفتت الكوارتز، وقد تختلط بالكوارتز مواد معدنية أخرى ولو بكميات بسيطة فتعطيه أسماء مختلفة مثل اختلاطه بأكاسيد الحديد التي تكسبه اللون الأحمر فيعرف في هذه الحالة باسم العقيق Agate وإذا اختلط بالمواد الطينية عرف باسم الصوان.

الكالسيت: يتركب من كربونات الكالسيوم، ويبتلور في أشكال مختلفة تابعة لفصيلة السداسي، سريع التشقق، صلاته ٣ وثقله النوعي ٢,٧ جرام/سم^{٣}

ولونه أبيض شفاف وله خاصية أن الضوء ينكسر كسراً مزدوجاً. وتؤثر فيه الأحماض كثيراً فينبعث منه غاز ثاني أكسيد الكربون. والكالسيت يأتي بعد الكوارتز من حيث شيوعه في صخور الأرض، فيوجد في بعض الصخور النارية، كما أنه يوجد في عروق تتخلل الصخور الجيرية، وكذلك في رواسب الكهوف. كما تكون مادة الكالسيت المادة اللاحمة لذرات معدن الكوارتز.

والبللورات المتماسكة من الكالسيت إذا أعيد تبلورها بعد انصهار الحجر الجيري بعامل الحرارة الناتجة من صخور نارية تدخلت فيها فانها تتحول إلى ما يعرف باسم الرخام.

أكاسيد الحديد: وتوجد على عدة أنواع منها: الهيماتيت Hematite أو حجر الدم. يتبلور في أشكال سداسية ويتشقق في شقوق سداسية أيضاً، صلابته ٦ وثقله النوعي ٥,٢ جرام/ سم^{3} ولونه أسود أو أحمر قاتم، مخدشه أحمر فاقع كلون الدم وبريقه فلزي غير شفاف وينصهر بصعوبة. والليمونيت Lamonite وهو مثل الهيماتيت في تركيبه ولكن تزيد فيه نسبة الماء التي تصل إلى ٤٪ وهو في الغالب ترابي التكوين غير متبلور ويختلف لونه من اوسود إلى الأصفر. أما الماجنيتيت Magnitite فهو أكسيد الحديد الأسود.

الجبس: يتركب من كبريتات الكالسيوم مع الماء ويتبلور في بلورات تتبع فصيلة الميل الواحد، صلابته ٢ وثقله ٢,٢ جرام/سم^{3} وهو شفاف لا لون له وبريقه لؤلؤي أو زجاجي. وإذا احترق يفقد الماء المتحد معه وينتج عن ذلك المصيص المستعمل في عمليات الطلاء.

المالح الصخري: يتركب من كلوريد الصوديوم (ملح الطعام) ويتبلور في مكعبات تشقق بسهولة وصلابته ٢,٥ وثقله النوعي ٢,٢ جرام/سم^{3}. وهو معدن شفاف لا لون له بريقه زجاجي، طعمه مالح يذوب في الماء. ويتكون

عادة نتيجة تبخر مياه البحر، ويوجد في طبقات سميكة أحياناً وخصوصاً في أماكن البترول.

الفلسبار: يطلق هذا الاسم على مجموعة المعادن التي تتكون من سليكات الألمنيوم مع واحد أو أكثر من أكاسيد البوتاسيوم والصوديوم والكالسيوم، وهي معادن تدخل في تركيب أغلب الصخور النارية كالجرانيت والديوريت والبازليت. وأهم أنواع الفلسبار: معدن الأرثوكلاز Orthoclase (سليكات الومنيوم والبوتاسيوم) الذي تتبع بللوراته نظام الميل الواحد. صلابته ٦ وثقله النوعي ٢,٥ جرام/سم٣. ولونه يختلف من الأبيض والمائل للاحمرار والرمادي، بريقه زجاجي وتبعاً لأنه معدن أساسي في صخر الجرانيت فإن لون الأخير يتوقف على وفرة المعدن فيه. ومعدن البلاجيو كلاز Plagioclase (سليكات ألومنيوم مع الصوديوم أو الكالسيوم) ويتبلور في بللورات تابعة لنظام الميوم الثلاثة، ويوجد غالباً في شكل بللورات غير ملونة تشبه الزجاج وأهم أنواعه الألبيت، والكاولين أو الطين الصيني.

الميكا: وهي مجموعة من المعادن تشترك في تركيبها من سليكات الألومنيوم مع واحد أو أكثر من أكاسيد البوتاسيوم أو المغنسيوم أو الحديد أو غيرها، وجميعها تتبلور في أشكال سداسية تتبع نظام الميل الواحد، وتتشقق في صفائح سداسية رقيقة جداً. وهي شفافة إلا أن بعضها أبيض والبعض الآخر أسود، وصلابتها ٢,٥ والثقل النوعي ٢,٩ جرام/سم٣ وبريقها زجاجي. والميكان معدن أساسي في صخر الجرانيت مع الكوارتز والفلسبار، وكذلك في أغلب الصخور المتحولة. وتنقسم الميكا إلى نوعين: الميكا البيضاء Muscovite (سليكات الألومنيوم والبوتاسيوم) والميكا السوداء Biotite (سليكات الألومنيوم والمغنسيوم).

الهورنبلد: ويتركب من سليكات المغنسيوم والكلسيوم والحديد مع قليل من الألومنيوم. وبللوراته تتبع نظام الميل الواحد ويتشقق في اتجاهين يتقاطعان

في زاوية ١٢٠، وهذه من الخصائص التي تميزه عن معدن آخر له وهو الأوجيت. وصلابة الهورنبلند بين ٥،٦ وثقله النوعي نحو ٣ جرام/سم^{٣} ولونه أسود، ويوجد في كثير من الصخور النارية مثل الجرانيت، كما أنه من المعادن الأساسية في صخر الدبوريت وبعض الصخور المتحولة.

الأوجيت: يشبه الهورنبلند في تركيبه الكيميائي وشكلها البللوري ولكنه يختلف عنه في التشقق حيث يتشقق الأوجيت في اتجاهين يتقاطعان في زاوية قائمة تقريباً. والأوجيت لونه أسود وبريقه زجاجي والثقل النوعي ٣,٣ جرام/سم^{٣} وهو من المعادن الشائعة في الصخور البركانية كالبازلت.

الأوليفين: يتركب من سليكات المغنسيوم والحديد ويتبلور في منشورات تتبع نظام المعين وصلابته ٧ وثقله النوعي ٣,٤ جرام/سم^{٣} ولونه أخضر مائل للاصفرار شفاف، وبريقه زجاجي. وهو من المعادن الشائعة في صخور البازلت. ومن أنواعه المستخدمة في صناعة المجوهرات الزبرجد ولونه أخضر جميل إلا أن صلابته أقل من صلابة الأحجار الكريمة الأخرى ولذلك فإن قيمته تقل عنها.

الصخور Rocks:

الصخور هي مكونات القشرة الأرضية أو ذلك الغلاف اليابس الذي يحيط بالأرض، وقد جرت العادة على أن يطلق لفظ صخر على كل مادة صلبة تدخل في تكوين القشرة الأرضية، أي أن الصلابة شرط أساسي في الصخر. وبناء على هذا التعريف فقد استبعدت المواد الرخوة مثل الرمال والطين من مجموعات الصخور. أما التعريف الجيولوجي للصخر فهو جميع المواد المكونة في الطبيعة من معدنين أو أكثر التي تدخل في تركيب القشرة الأرضية. وقد يكون الصخر مكوناً من معدن واحد كالجبس والحجر الجيري ولكن وجوده بكميات هائلة

يشكل طبقات مترامية الأطراف أو جبال كبيرة يجعله أقرب للصخور منه للمعادن حيث لا يتوافر له في هذه الحالة صفة التناسق في جميع أجزائه وهي أهم صفات المعادن.

ولتسهيل دراسة الصخور التي يختلف بعضها عن بعض في خصائص كثيرة، يجب أن نقسمها إلى عدة أنواع على أسس علمية كالتي اتخذناها عند تقسيم المعادن. قد اتفق الجيولوجيون على أنه يمكن حصر جميع أنواع الصخور المعروفة وتقسيمها حسب طرق تكوينها في الطبيعة إلى ثلاثة أنواع رئيسية هي:

١ ـ الصخور النارية Igneous Rocks: وتعرف أحياناً بالصخور البللورية Crystalline Rocks أو الصخور الأولية Primary Rocks وهي التي تكونت من مواد معدنية مصهورة تصلبت بالبرودة. ومن أنواعها الجرانيت والبازلت.

٣ ـ الصخور الرسوبية Sedimentary Rocks: وتعرف أيضاً بالصخور الطباقية Stratified Rocks أو الصخور الثانوية Secondary Rocks، وهي نتيجة إرساب مواد نتجت من تفتت الصخور الأولية أو صخور رسوبية أخرى أو مواد أفرزتها نباتات أو حيوانات ثم تماسكت بعاملي الضغط والتجفيف أو رسوب مواد أخرى بين ذراتها. ومن أمثلتها الأحجار الجيرية والرملية والطينية.

٣ ـ الصخور المتحولة Metamorphic Rocks: وهي صخور كانت في الأصل إما صخور نارية أو رسوبية ثم تأثرت بعوامل أدت إلى تعرضها لحرارة مرتفعة أو لضغط عظيم أو للاثنين معاً فاكتسبت نتيجة لذلك خصائص جديدة ليس لأي النوعين السابقين من الصخور. ومن أمثلتها الاردواز والرخام Marble.

أولاً: الصخور النارية

تتكون الصخور النارية نتيجة لبرودة الصهير وتصلبها إما على السطح أو على أعماق مختلفة منه. وهي في مجموعها عبارة عن بللورات من معادن مختلفة يتماسك بعضها مع بعض تماسكاً شديداً ولهذا فإن أهم صفات الصخور النارية أن تكون متبلورة أو زجاجية في تركيبها. وهناك صفة أخرى لهذه الصخور نتيجة تكوينها من مواد منصهرة وهي أنها خالية تماماً من بقايا مواد حيوانية أو نباتية (حفريات) إذ لا يتيسر لها أن تعيش عليها. كما أنها تتصف بشدة صلابتها وعدم مساميتها وهي لهذا تعد أشد وأقوى الصخور مقاومة لعوامل التعرية إذ لا ينفذ خلالها الماء بسهولة، ولكنها إذا تعرضت للماء فترة طويلة فإنها تتحلل إلى مادة لينة نوعاً. ويؤثر اختلاف درجة الحرارة على تمددها وانكماشها وبالتالي تتفكك إلى كتل كبيرة التي تتفتت بدورها إلى كتل صغيرة.

ولا يشترط أن تكون الصخور النارية موجودة في الوقت الحاضر تحت الأرض لأن الحركات الأرضية وعوامل التعرية المختلفة قد أدت إلى إظهار الكثير منها فوق السطح، بل إن بعضها يرتفع فوق هذا السطح في كثير من المناطق وتتكون منه هضاب وجبال مرتفعة من أمثلتها كثير من هضاب وسط افريقيا وجبال شبه جزيرة سيناء وجبال البحر الأحمر.

وتتميز الصخور النارية التي توجد على سطح الأرض في بعض المناطق بكثرة ما يوجد بها من مفاصل Joints، وهي عبارة عن شقوق كبيرة تتقطع بها أجزاء الكتل الصخرية الكبرى إلى كتل صغيرة متراصة. وقد تنشأ هذه المفاصل في الصخور بسبب البرودة أثناء تكونها أو بسبب عوامل التجوية Weathering وعوامل التعرية. وكثيراً ما تكون هذه المفاصل متقاطعة مع بعضها بحيث تؤدي إلى تقسيم الكتل الصخرية الكبيرة إلى كتل أصغر لها أشكال هندسية واضحة

بالنسبة لبعض الصخور (شكل رقم: ٤ ـ ٤).

ويمكن تقسيم الصخور النارية حسب الحالة التي تصلبت فيها من المادة



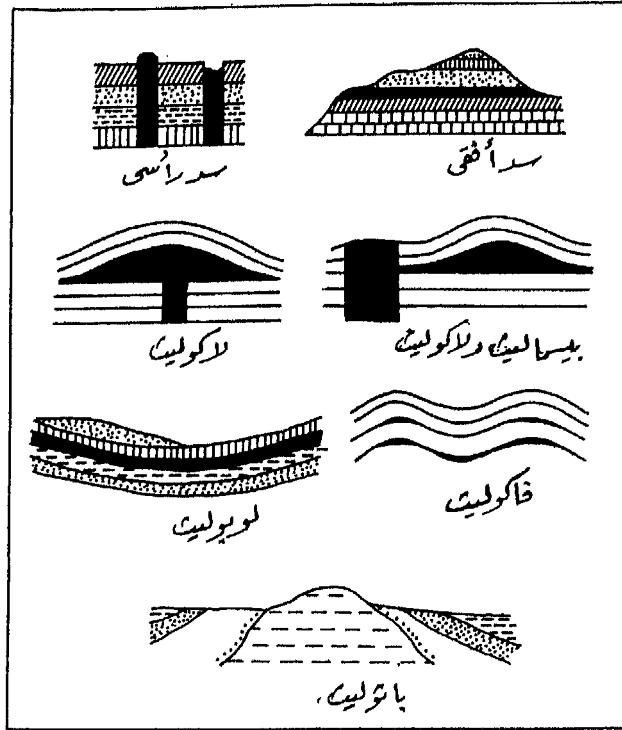
(شكل رقم: ٤ ـ ٤) تقطع الصخور النارية بواسطة المفاصل التي تكونت أثناء البرودة فقسمتها إلى أعمدة رأسية

المصهورة وحسب أماكن تكوينها إلى ثلاثة أنواع هي:

أ ـ الصخور الجوفية Plutonic Rocks: وهي الصخور التي تتكون على أعماق بعيدة من سطح الأرض ولهذا يكون التبريد فيها بطيئاً وبالتالي تكون

بللوراتها كبيرة، ولهذا فإنها تتميز بنوع خاص من النسيج وهو النسيج التام التبلور وتصبح حبيباتها خشنة. ومن أمثلتها الجرانيت وهو صخر يستعمل في كثير من أغراض البناء والزينة والتماثيل. وتوجد الصخور الجوفية في شكل كتل ضخمة يصل قطرها أحياناً إلى عدة كيلو مترات تسمى في هذه الحالة باسم التجمعات الصخرية (الشواهد) Bosses أو بالكتل Stocks، وتكون مستديرة أو بيضاوية الشكل، وقد تكون كتل الصخور النارية كبيرة جداً بحيث تنتشر على مساحات تقدر بمئات أو الآف الكيلومترات المربعة وعادة تكون أسقف هذه الكتل غير منتظمة الاستدارة وتكون حوائطها غائرة إلى أعماق بعيدة، وتعرف هذه الكتل الضخمة باسم الباثوليت Batholiths (شكل رقم: ٥ ـ ٤).

ب ـ الصخور المتداخلة Intrusive Rocks: وهي التي تدخلت في صخور القشرة الأرضية وتصلبت قريباً من السطح تحت عوامل أدت إلى تبلور المعادن المكونة لها ولكن بدرجة أقل من الصخور الجوفية. وتتخذ الصخور المتداخلة أشكالاً وتراكيباً صخرية مختلفة (شكل رقم: ٦ ـ ٤) بعد برودتها تتمثل في السدود الرأسية، أو السدود القاطعة. وهي ما يحدث عندما يصعد الصهير في شقوق رأسية تقريباً وعندما يبرد تتكون كتلة رأسية من الصخور ذات جوانب متوازية تقريباً وتكون في وضع عمودي أو قريب من العمودي على مستوى الطبقات. وتختلف هذه السدود في السمك من بضعة سنتيمترات إلى عشرات من الأمتار كما قد تصل في الطول إلى عدة كيلومترات. وقد تكون هذه السدود من الصلابة بحيث تقاوم عوامل التعرية التي تعمل على تآكل الصخور على جانبيها وتبقى السدود كحائط هائل. وقد تكون أقل صلابة من الصخور الأخرى فتتآكل السدود وتترك وراءها خنادق مستطيلة. وتأخذ الصخور المتداخلة أحياناً شكل السدود الموازية لمستوى الطبقات أو السدود الأفقية Sills وهذه تظهر كأنها طبقات من الصخر الناري بين طبقات الصخور الأخرى، وهي نتيجة تدخل مواد الصهير بين طبقات من صخور غير متماسكة. وبذلك تجد هذه المواد

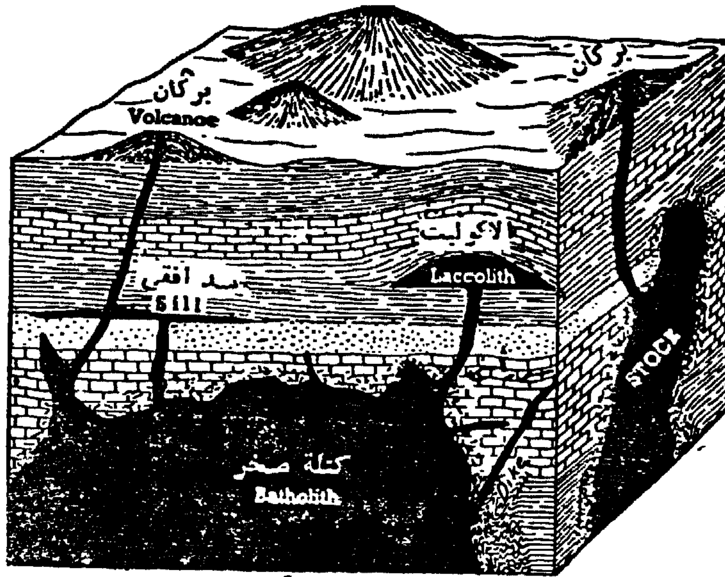


(شكل رقم: ٥ ـ ٤) أشكال وتراكيب الصخور النارية المتداخلة والجوفية

طريقاً سهلة بين الطبقات أكثر من صعودها إلى أعلى. وهذه السدود تختلف في سمكها وامتدادها كما أنها تحدث تحولاً في الصخور الجانبية لها من أسفل وأعلى كما في السدود الرأسية.

كما توجد الصخور النارية المتدخلة على هيئة قباب أو كتل كبرى قد تبلغ حجماً كبيراً فتكون سلاسل من الجبال تبلغ ارتفاعاً عظيماً وامتداداً أعظم. وهي نتيجة تدخل مواد مصهورة تصعد بين الطبقات خلال فتحات ضيقة وتكون على درجة كبيرة من اللزوجة، وبدلاً من أن تنتشر أفقياً فإنها تضغط الطبقات التي تعلوها فتقوسها ويختلف هذا النوع من التراكيب في السمك بين بضع مئات من الأمتار إلى كيلو متر واحد أو أكثر، أما قطره فيتراوح بين عشرات من الأمتار إلى عدة كيلومترات. وعكس هذه الحالة تحدث في بعض الأحيان مكونة قبة مقلوبة

أو كتلة من الصخور النارية المتدخلة على شكل حوض يسمى بكتلة لابوليث Lapolithe (شكل رقم ٥ ـ ٤). ومن أمثلة الصخور النارية المتدخلة صخر البورفوريت والفلسيت والدولوريت.



(شكل رقم: ٦ ـ ٤) أشكال الصخور النارية الجوفية والمتداخلة والبركانية

جـ ـ الصخور السطحية أو الطفحية (البركانية) Extrusive Rocks (Volcanic Lava): وهي صخور نارية في طبقات غير منتظمة تنتشر حول فوهة بركان أو على جانبي فالق في القشرة الأرضية. وتتكون نتيجة تصلب مواد مصهورة خرجت إلى السطح على شكل حمم بركانية، ويؤدي التبريد السريع إلى تزايد لزوجة موادها وبهذا لا تعطي الفرصة الكافية لجزئياتها الدقيقة أن تترتب وتتشكل في أشكال منتظمة. وينتج عن هذا التبريد السريع أن تتخذ الطفوح

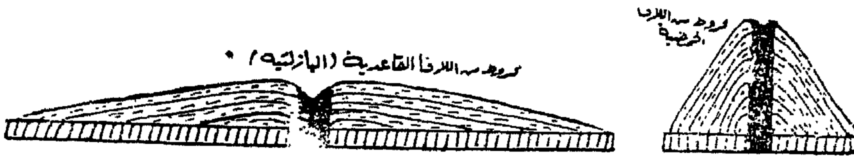
البركانية أو الصخور النارية السطحية نسيجاً زجاجياً بمعنى أنه خال تماماً من البللورات. ومن أشهر أنواع هذه الصخور البازلت والبيوميس Pumice (الحجر الخفاف) وهو صخر مليء بالفتحات، نتيجة لخروج فقاقيع الغازات المختلفة منها، تقذفه البراكين في إيطاليا أحياناً فتحمله مياه البحر إلى شواطئنا على البحر المتوسط.

وتتكون من الصخور الطفحية أشكال تضاريسية تتوقف نشأتها على كمية المواد المنصهرة التي تخرج إلى السطح ونوعها وطريقة خروجها، وأهم هذه الأشكال هي:

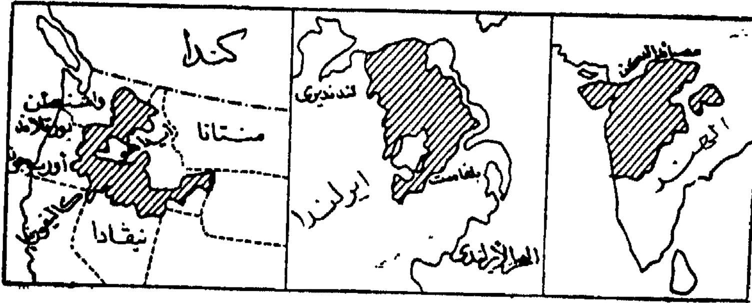
١ ـ المخروطات البركانية، وهي تتكون نتيجة لتراكم اللافا المنصهرة حول فوهات البراكين، وتكون هذه المخطروطات قائمة وجوانبها شديدة الانحدار، إذا كانت اللافا حامضية (بها نسبة عالية من ثاني أوكسيد السيليكون) لأن درجة انصهارها تكون عالية ما يجعلها تتصلب بسرعة حول فوهة البركان، أما إذا كانت قاعدية (بازلتية) (فقيرة في ثاني أوكسيد السيليكون) فان مخروطاتها تكون مفلطحة وجوانبها بطيئة الانحدار لأن درجة انصهارها تكون منخفضة مما يجعلها تنساب بعيداً عن فوهة البركان قبل أن تتصلب.

٢ ـ غطاءات اللافا Lava Sheets، وهي عبارة عن هضاب متسعة من الصخور البركانية. وهي تتكون بسبب خروج اللافا القاعدية من شقوق في القشرة وانسيابها لمسافات بعيدة. فإذا استمر خروج اللافا لمدة طويلة أو إذا تكرر خروجها عدة مرات في نفس المنطقة فإنها تؤدي في النهاية إلى تكون هضاب بازلتية ضخمة مثل الهضبة المعروفة باسم مصائد الدكن Deccan Traps في شمال غرب هضبة الدكن، وهي تغطي منطقة مساحتها حوالي نصف مليون كيلو متر مربع، والهضاب البازلتية الواسعة في ولايات واشنطن وأوريجون وأيداهو في شمال غرب الولايات المتحدة، ويبلغ متوسط ارتفاعها حوالي الف متر واتساعها حوالي ٦٠٠ ألف كيلو متر. وكذلك الهضاب التي تشغل منطقة

واسعة في شمال شرق إيرلنده. ويمكننا أن نعتبر هضبة الحبشة وهضبة اليمن في جملتهما من نفس النوع، وذلك بالإضافة إلى الثورانات البركانية العادية التي أدت في نفس الوقت إلى ظهور مخروطات بركانية واضحة في هاتين الهضبتين.



(شكل رقم: ٧: ٤) مخروطان بركانيان أحدهما من اللافا الحامضية والثاني من اللافا القاعدية.



(شكل رقم : ٨ ـ ٤) بعض غطاءات اللافا الكبيرة

ويقسم الجيولوجيون كل نوع من الأنواع الثلاثة للصخور النارية إلى ثلاثة أقسام أخرى حسب التركيب الكيميائي. ونظرا لأن معظم الصخور النارية تتألف من معادن تركيبها الكيميائي السليكات (ثاني اكسيد السليكون) مع بعض

الأكاسيد الأخرى الفلزية وغير الفزية، ولذلك فقد اتخذت نسبة ثاني اكسيد السيليكون في الصخور النارية قاعدة لتقسيمها إلى ثلاث مجموعات:

١ ـ الصخور الحامضية Acid Rocks وهي الصخور التي ترتفع بها نسبة ثاني اكسيد السيليكون عن ٦٦٪ وذلك لأن هذا الأكسيد في نظر الكيمائيين من الأكاسيد الحامضية.

٢ ـ الصخور المتوسطة Intermediate Rocks: وهي الصخور التي يوجد بها ثاني اكسيد السليكون وبنسبة تتراوح بين ٦٦٪ و ٥٢٪.

٣ ـ الصخور القاعدية Basic Rocks: ونسبة ثاني اكسيد السليكون بها أقل من ٥٢٪، وتسمى قاعدية لوفرة أكاسيد الحديد والمنجنيز بها وهي اكاسيد تعتبر عند الكيميائيين أكاسيد قاعدية. وهناك مجموعة صغيرة سميت صخوراً فوق القاعدية Uitra- Basic وتقل نسبة ثاني اكسيد السيليكون بها عن ٤٠٪.

ويستخدم التركيب المعدني للتمييز بين أقسام الصخور النارية لأنه أقل تعقيداً من التركيب الكيميائي ولقلة عدد المعادن التي تدخل في تركيب الصخر الواحد. وإذا كان الصخر الناري يتكون من عدة معادن فإن عدداً قليلاً منها يعد اساسياً في التركيب والمعادن الأخرى تكون ثانوية تبعاً لصغر كميتها. والمعادن الأساسية في تركيب الصخور النارية هي: الكوارتز، الفلسبار، الميكا، الهورنبلند، الأوجيت والأوليفين. وهذه المعادن تنقسم إلى قسمين أحدهما باهت اللون خفيف الوزن يتكون من الكوارتز والفلسبار، والقسم الآخر قاتم اللون ثقيل الوزن وهو الميكا والهورنبلند والأوجيت والأوليفين. والصخور الحامضية تحتوي على نسبة كبيرة من القسم الأول، أي أنها صخور باهتة خفيفة الوزن نسبياً، بينما الصخور القاعدية تحتوي على نسبة عالية من القسم الثاني. فهي إذن صخور قائمة اللون ثقيلة. والجدول التالي يوضح محصلة تصنيف وتقسيم الصخور النارية حسب الأسس التي ذكرناها:

تصنيف الصخور النارية حسب أماكنها وتركيبها المعدني

رالنوع حسب التركيب المعدني	نسبة ثاني أكسيد السيليكون	المعادن الأساسية	صخور جوفية	صخور متدخلة	صخور بركانية
صخور حامضية	أكثر من ٦٦٪	كوارتز ارثوكلاز ميكا	جرانيت	فليست	ربوليت
صخور متوسطة	٦٦٪ إلى ٥٢٪	فلسبار هورنبلند	ديوريت	بورفوريت	اندسيت
صخور قاعدية	أقل من ٥٢٪	بلاجيوكلاز أوجيت أوليفين	جابرو	دولوريت	بازلت

ثانياً: الصخور الرسوبية Sedimentary Rocks:

يعرف هذا النوع من الصخور الثانوية بمعنى أنها تتكون من بقايا صخور أخرى مختلفة الأنواع موجودة قبل ذلك في أماكن أخرى. وتفتت الصخور الأخيرة وتحللت بواسطة عوامل التعرية المختلفة (كالتجوية والرياح والمياه الجارية) التي تؤثر على سطح القشرة الأرضية، ثم تنقل مفتتات هذه الصخور بواسطة عدة عوامل أهمها الرياح والأنهار إلى حيث تصب في المحيطات والبحار حيث تحدث عملية الترسيب.

وتغطي هذه الصخور حوالي ٧٥٪ من المساحة الكلية لليابس، ولكنها مع ذلك لا تمثل إلا ٥٪ فقط من تركيب القشرة الأرضية، بينما يكون العكس بالنسبة للصخور النارية والمتحولة التي لا تظهر على السطح إلا في حوالي ٢٥٪ فقط من مساحة اليابس بينما تمثل ٩٥٪ من تركيب القشرة. وتوجد هذه الصخور

عادة في طبقات متتابعة ولذلك فانها تسمى كذلك بالصخور الطبقية Stratified Rocks ويكون تتابعها عادة متفقاً مع ترتيب العصور التي تكونت أثناءها بحيث يكون القديم منها تحت الأحدث منه، ومع ذلك فقد أدت الحركات الأرضية وعوامل التعرية إلى اختلال هذا التتابع في كثير من المناطق.

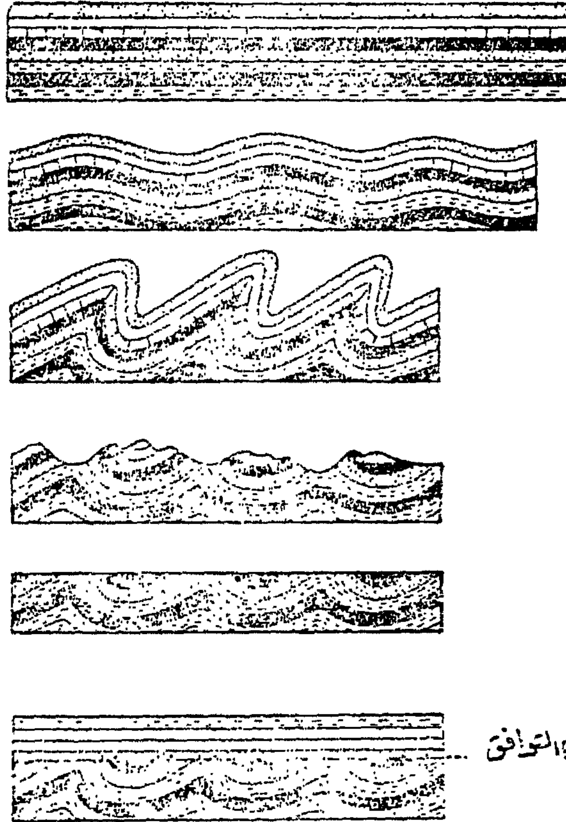
وتتميز الصخور الرسوبية بكثرة ما بها من حفريات Fossils، وهي البقايا والآثار الحيوانية والنباتية التي توجد في طبقاتها. وتعد هذه الحفريات من أهم وسائل دراسة هذه الصخور، لأنها تبين بوضوح عمر الطبقات الصخرية ونوع الظروف المناخية والنباتية والحيوانية التي كانت سائدة خلال العصر الذي تكونت فيه وطبيعة المناطق التي أرسبت فيها من حيث كونها مناطق بحرية أو بحيرية أو وديان نهرية أو مناصق صحراوية أو جليدية.

وتوجد الصخور الرسوبية في تراكيب Structures كثيرة ومتنوعة، ففي بعض هذه التراكيب تكون الطبقات محافظة على تتابعها الزمني بل وعلى امتدادها الأفقي نتيجة لعدم تعرضها للحركات الأرضية العنيفة، بينما يكون ترتيبها في بعضها الآخر مختلاً إما نتيجة لحركات عنيفة أدت إلى زحف بعض الطبقات القديمة فوق طبقات أحدثت منها أو بسبب إزالة بعض الطبقات بفعل عوامل التعرية. وعلى هذا الأساس تقسم تراكيب هذه الصخور إلى قسمين هما: تراكيب متوافقة Conformable، وتراكيب غير متوافقة Unconformable.

والمقصود بالتركيب المتوافق هو التركيب الذي تكون فيه الطبقات متتابعة من أسفل إلى أعلى على حسب ترتيبها الزمني دون أن تختفي من بينها طبقات أي عصر من العصور، أما التركيب غير المتوافق فهو التركيب الذي لا تكون طبقاته متتابعة بنفس ترتيبها الزمني، أو الذي تختفي فيه طبقات عصر واحد أو أكثر. وأهم الظروف التي تؤدي إلى ذلك هي أن يتوقف الإرساب في المنطقة بعض الوقت بينما تعمل عوامل التعرية على إزالة الطبقات العليا التي تمثل عصراً من العصور أو أكثر، ثم يعود الإرساب من جديد فيؤدي إلى تراكم طبقات جديدة فوق السطح الذي نحتته عوامل التعرية والذي يطلق عليه في هذه الحالة

اسم سطح عدم التوافق Unconformity Surface (انظر شكل رقم : ٩ـ ٤).

ميل الطبقات Dip of Stata: المقصود بميل الطبقات هو امتدادها في مستوى غير أفقي، فعلى الرغم من أن الطبقات تظل في كثير من التراكيب محتفظة باتجاهها الأفقي حتى بعد تعرضها لبعض الحركات الأرضية مثل الحركات الرأسية، فإن هذه الحركات تؤدي في أغلب الحالات إلى تغيير هذا



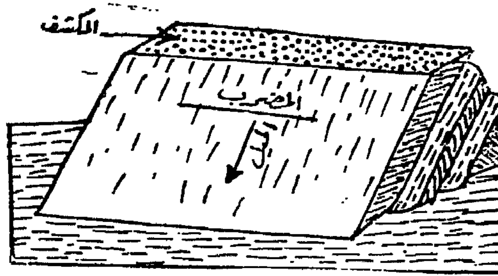
(شكل رقم : ٩ ـ ٤) مراحل حدوث عدم التوافق في الطبقات الرسوبية

الاتجاه بحيث تصبح معظم الطبقات ـ مائلة على المستوى الأفقي (شكل رقم: ١٠ ـ ٤). وتتباين درجات الميل من موضع إلى آخر على حسب نوع الحركات

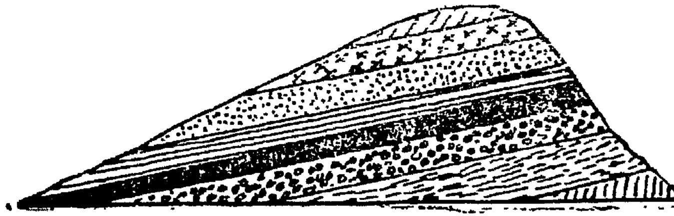
الأرضية ودرجة تأثر الطبقات الصخرية بها، وتحسب درجة ميل أي طبقة بمقدار الزاوية التي تصنعها هذه الطبقة مع المستوى الأفقي، وهذه هي التي تعرف باسم «زاوية الميل Angel of Dip»، وهي تقاس بواسطة جهاز خاص هو جهاز قياس الميل، أو الكيلنو متر Clinometer. ويجب ألا نخلط بين ميل الطبقات وانحدار سطح الأرض Slope، فكثيراً ما تكون الطبقات أفقية في مناطق سطحها شديد الانحدار، أو تكون مائلة في مناطق سطحها أفقي. ويطلق تعبير «مضرب الطبقة Stirke of Stratum، على الخط الأفقي المتعامد على اتجاه ميل هذه الطبقة، وإن كان جزء أو جانب من هذه الطبقة ظاهراً على السطح فيطلق عليه تعبير «مكتشف الطبقة Outcrop of Stratum ». ويتوقف اتساع مكاشف الطبقات على العلاقة بين اتجاه ميلها واتجاه انحدار سطح الأرض، فإذا كانت الطبقات مائلة في نفس اتجاه انحدار السطح فإن مكاشفها تكون متسعة أما إذا كانت مائلة في الاتجاه المعاكس لاتجاه الانحدار فإن مكاشفها تكون ضيقة، وخصوصاً إذا كانت متعامدة على السطح المنحدر (أنظر الشكل رقم : ١١ ـ ٤).

الأسطح الطبقية Bedding Planes: ويقصد بها الأسطح التي تلتقي عندها الطبقات المتجاورة، ويكون السطح الطبقي واضحاً إذا كانت الطبقتان المتجاورتان مختلفتين في التركيب اختلافاً واضحاً، كأن تكون إحداهما مكونة من حجر رملي والثاني من حجر جيري أو طيني. ومن الواضح أن الأسطح الطبقية تمثل سطوحاً قديمة لقيعان بحار أو بحيرات أو أرضاً يابسة قبل أن تتغطى بالرواسب التي كونت الطبقات التي فوقها.

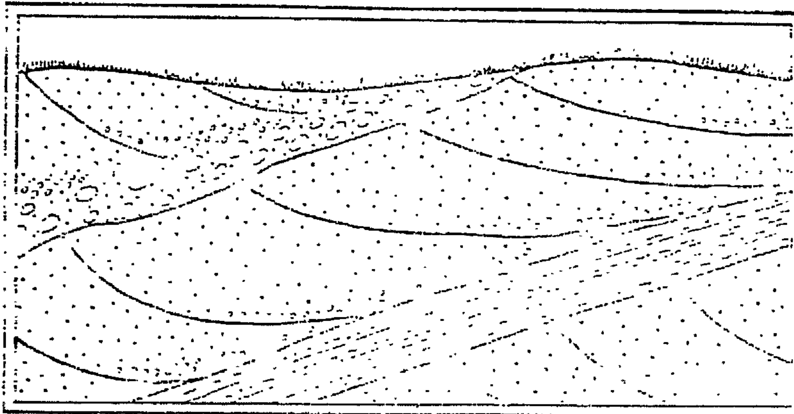
الطباقية الكاذبة False Bedding: ويقصد بها انقسام الطبقة الواحدة بواسطة أسطح مستعرضة بحيث تبدو وكأنها مكونة من طبقات متتالية، ويحدث ذلك على الشواطىء بسبب المد والجزر أو بسبب التيارات البحرية أو بسبب تغير قوتها. ولذلك فقد يطلق على هذه الظاهرة كذلك اسم طباقية التيار Current Bedding، ومن الممكن أن تحدث الطباقية الكاذبة كذلك بسبب تغير اتجاه الرياح وقوتها، (انظر شكل رقم: ١٢ ـ ٤).



(شكل رقم: ١٠ ـ ٤) ميل الطبقات



(شكل رقم: ١١-٤) العلاقة بين انحدار سطح الأرض وميل الطبقات واتساع مكاشفها



(شكل رقم: ١٢ ـ ٤) الطباقية الكاذبة في الصخور الرسوبية

وتتماسك المواد المكونة للصخور الرسوبية نتيجة لسببين أساسيين أولهما الثقل الهائل الناتج عن تراكم كميات ضخمة من الرواسب (تقدر بملايين الأطنان سنوياً) فوق الرواسب الموجودة أصلاً مما يسبب ضغط حبيبات هذه الرواسب الأخيرة وتقليل الفراغات بينها. وهذا ما ينطبق على الرواسب الطينية التي تتماسك وتكون الطفل. والسبب الآخر لتماسك الرواسب من رسوب مواد أخرى بين ذرات الصخور الرسوبية لإحداث تماسك بينها أو ما يعرف بعملية اللحام Cementation وهذا ما يحدث في حالة الرواسب المكونة من مواد خشنة مثل الرمل الذي لا يتماسك عن طريق الضغط لوجود مسافات صغيرة بين حبيباته تحول دون تماسكها. ومن أمثلة المواد التي تعمل على التماسك مادة كربونات الكالسيوم وبعض أكاسيد الحديد وأكسيد السيليكون، وهناك أسباب لتماسك الرواسب منها الضغط والحرارة الناجمين عن حركات القشرة الأرضية.

ويمكن تقسيم الصخور الرسوبية بصفة عامة إلى ثلاثة أنواع حسب نشأتها وطريقة تكوينها.

الرواسب الطبيعية أو الميكانيكية:

وهي رواسب تكونت نتيجة لتآكل الصخور القديمة بفعل النحت بواسطة عوامل التعرية ثم نقلت إلى أماكن ترسيبها. وأهم هذه الرواسب هي التي ترسبت بواسطة الماء مثل الحصى والرمال والطين. وبناء على الظروف المحيطة بعملية الإرساب يمكن تقسيم الرواسب الطبيعية إلى نوعين من الرواسب هما: الرواسب البحرية Marine Sediments والرواسب القارية Continental Sediments.

أ ـ الرواسب البحرية أكثر الرواسب شيوعاً في سطح الأرض إذ أن المسطحات المائية كما ذكرنا تغطي ثلاثة أرباع مساحة الكرة الأرضية. وتنقسم الرواسب البحرية فيما بينها حسب العمق الذي تكونت فيه وحسب بعدها عن

الشاطىء إلى الأقسام التالية:

١ ـ الرواسب الشاطئية، وهي الرواسب التي تتكون على منطقة الشاطىء Littoral (Tidal Zone) أي في المنطقة التي تقع تحت تأثير فعل الأمواج والمد والجزر وتتكون هذه الرواسب عادة من الجلاميد Bouldars والحصى Pebble والرمل الخشن التي تختلف باختلاف المواد المكونة للشاطىء نفسه، ولا تكون في طبقات منتظمة بل تكون في أكوام مختلطة بعضها ببعض بغير نظام.

٢ ـ رواسب منطقة المياه الضحلة Shallow- Water وهي المنطقة التي تمتد بعد المنطقة الشاطئية إلى حيث يبلغ العمق حوالي ١٠٠ قامة بحرية (حوالي ١٨٠ متراً) وتترسب في هذه المنطقة المواد الأصغر في الحجم مثل الحصى الصغير والرمال. ونظراً لأن هذه المنطقة تزخر بالأحياء البحرية النباتية والحيوانية فإن رواسبها تحتوي على مقدار عظيم من بقاياها.

٣ ـ رواسب منطقة حافة الأعماق Bathyal Zone وهي المنطقة التي تلي المياه الضحلة وتتراوح في العمق بين ١٠٠ إلى ١٥٠٠ قامة (١٨٠ ـ ٢٧٠٠ متراً). ورواسب هذه المنطقة غالباً من المواد الطينية الدقيقة التي حملتها الأنهار إلى أن دقة حبيباتها وخفتها أدت بها إلى أن تبقى معلقة في الماء فلا ترسب على القاع، وكذلك قد تحتوي على مواد جيرية من بقايا الحيوانات وحيدة الخلية التي تعيش في هذه المنطقة.

٤ ـ رواسب منطقة الأعماق Ibyssal Zone ، وهي رواسب غاية في الدقة وتكون في الغالب بقايا حيوانات مجهرية، كما توجد بهذه المنطقة رواسب بركانية مكونة من طين أحمر ورماد بركاني Volcanic الذي تحمله الرياح بعيداً عن منطقة البراكين يرسب فوق سطح الماء في هذه المنطقة ثم لا يلبث أن يهبط إلى القاع.

وتتحكم في عملية الترسيب في المسطحات المائية خاصية قوة التصنيف Sorting Power الموجودة لدى المياه المتحركة. وتعمل هذه الخاصية على

ترسيب المواد الصخرية الكبيرة الحجم أولاً ثم يندرج الترسيب حسب حجم هذه الفئات فيترسب بعد ذلك الصغير فالأصغر ويكون هذا التدرج جانبياً في حالة المياه المتحركة إلى جانب كونه رأسياً. وهكذا نجد أن كل الرواسب التي تحملها الأنهار سنوياً إلى أحواض البحار والمحيطات تكون نحو ٨٠٪ من الصخور الرسوبية الموجودة في سطح الكرة الأرضية.

ب ـ الرواسب القارية، وهي الرواسب التي تكون فوق القارات، وهي إما رواسب هوائية تكونت بفعل الرياح، ومن أمثلة هذه الرواسب الهوائية الكثبات الرملية Sand Dunes التي تتكون عندما تضعف قوة الرياح المحملة بالرمال، وكذلك رواسب التالوس Talus التي تتكون من تراكم فتات الصخور المحمولة بواسطة الرياح عند حواف الهضاب والجبال. أو رواسب نهرية التي تتكون في مجرى النهر أو على جانبيه وذلك نتيجة للفياضات المتتالية، وتكون هذه الرواسب على شكل حصى ورمال ورواسب طينية للفيضانات المتتالية، وتكون هذه الرواسب على شكل حصى ورمال ورواسب طينية وينتج عن ترسبها تكون السهول الفيضية Flood- Plains والدالات أو رواسب بحيرية وهي رواسب تختلف باختلاف البحريات عذبة أو مالحة، ففي الحالة الأولى تكون الرواسب شبيهة بالرواسب النهرية أو الرواسب الشاطئية البحرية، وفي الحالة الثانية فتكون غالبيتها رواسب كيمائية أي من الأملاح المختلفة نتيجة لتبخر مياه البحيرات. وهناك أيضاً رواسب الأنهار الجليدية (الثلاجات) Glaciers التي تحمل على سطحها من المواد الطينية والرملية والحصى والجلاميد فإذا ما بلغت المنسوب الذي يتحول فيه الثلج إلى ماء فإنها تلقي فجأة بما تحمله من مواد في أكوام غير منتظمة أي تنعدم في هذه الحالة قوة التصنيف للرواسب. وهناك كذلك الرواسب التي تنتج عن السيول التي تكتسح كل ما يقابلها من مواد صخرية أثناء اندفاع المياه حتى إذا ما وجدت أرضاً سهلية ضعفت قوتها وألقت بحملها إما على هيئة مروحية فيضية نصف دائرية أو في شكل مثلث أو دلتا جافة Dey- Delta.

وتختلف الصخور الميكانيكية من حيث حجم حبيباتها المكونة لها ودرجة استدارتها ونوع المادة اللاحمة لحبيباتها، ومن أهم أمثلتها، الحصى، الرمل، والحجر الرملي، والكونجلومترات، الصخور الطينية، البريشيا، وفيما يلي وصف موجز لكل منها:

الحصى Gravels: وهو يتكون من حبيبات غير متماسكة ومستديرة تقريباً، يتراوح قطرها بين ٢ ملليمتر إلى ١٠ سنتيمتر ويتركب معظمها من الكوارتز. أما الحبيبات ذات القطر الأكبر من ١٠ سنتيمتر فتعرف باسم الجلاميد، بينما تعرف الحبيبات الأقل من ٢ ملليمتر في الحجم باسم الرمل. وينتج الحصى والجلاميد من تهشيم الصخور مهما كان نوعها وذلك من تأثرها بعوامل جوية أهمها تغير درجات الحرارة وما يصحب ذلك من تمدد أو انكماش، أو من تأثير المياه الجارية أو الجليد أو الأمواج. والحصى والجلاميد تنقسم إلى نوعين: إما أن تكون حادة الحواف لم تأخذ الشكل المستدير نظراً لتواجدها قرب مصادرها الأصلية أي حيث انفصلت من الصخور التي منها تكونت على سفوح الجبال أو عند أقدامها وإما أن تكون مستديرة ملساء نتيجة تهذيبها باحتكاك بعضها ببعض أو بالصخور التي مرت عليها وذلك في حالة انتقالها بفعل السيول والأنهار، أو بحكم تعرضها لفعل الأمواج، وهي بذلك توجد بعيدة عن مصادرها الأصلية في بطون الأودية حيث التيار يقوى على حملها، وعلى امتداد بعض الشواطىء.

الرمل Sand: يطلق هذا التعبير على كل صخر مفكك غير متماسك يتراوح قطر حبيباته من ٠,٠٥ ملليمتر و ٢,٠ ملليمتر. أما إذا تماسكت حبيبات الرمل فإنها تكون ما نسميه الحجر الرملي. ويقسم الرمل عادة تبعاً لحجم حبيباته إلى ثلاثة أقسام رئيسية هي: رمل خشن Corse Sand ويتـراوح قطر حبيباته بين ٢,٠ ملليمتر إلى ٠,٧٥ ملليمتر، رمل متوسط Medium Sand ويتراوح قطر حبيباته بين ٠,٧٥ ملليمتر إلى ٠,١٠ ملليمتر، رمل دقيق Fine Sand (ناعم) وهو ما

يتراوح قطر حبيباته بين ٠,١٠ ملليمتر إلى ٠,٠٥ ملليمتر. ويتكون الرمل أما في مياه قليلة العمق قرب الشاطىء أو في بطون الأودية النهرية وعلى سطح الأرض في الصحارى. وتختلف الرمال في شكل حبيباتها ويرجع ذلك إلى أصل تكوينها: فتكون حبيباتها حادة Angular أي غير مستديرة في مجاري الأنهار أو على الشاطىء وذلك لأن حركة احتكاكها بعضها ببعض هي غالباً في أثناء نقلها بواسطة الرياح بصفة خاصة، كما تختلف الرمال من المعادن المكونة لها فأغلبها مكون من الكوارتز الذي يعد أقل المعادن تأثراً بعوامل التعرية فلا يتحلل إلى معادن أخرى. وبعض الرمال مكونة من الكوارتز المختلط ببعض المعادن الأخرى مثل الفلسبار والهورنبلند والأوجيت والميكا. وهناك من الرمال ما يتكون من قطع صغيرة من الأحجار الجيرية والمحارات البحرية الصغيرة.

وتبعاً للمادة المكونة يختلف لون الرمال التي قد تكتسب ألواناً ساطعة حمراء أو صفراء وذلك لوجود أكاسيد الحديد بكميات ضئيلة حول حبيباتها. وفي بعض الأحيان يكثر معدن الماجنيت والألمنيت وحينئذ يصير لونها أسوداً وتعرف بالرمال السوداء Black Sand.

أما الحجر الرملي فيتكون من حبيبات متشابهة مستديرة أو شبه مستديرة يغلب فيها الكوارتز تتماسك بعضها ببعض. وتختلف صعوبة الأحجار الرملية باختلاف المواد اللاحمة، كذلك تختلف مسامية الأحجار الرملية تبعاً لحجم حبيباتها على الرغم من أنها أكثر الصخور مسامية وهي لذلك فإنها تعتبر خزانات طبيعية للمياه والبترول.

الكونجلومرات والبريشيا Conglomerate and Breccia: وهي عبارة عن طبقات من الحصى والرمل أرسبت بين جزئياتها مادة لاحمة حديدية أو جبسية أو جيرية، عملت على تماسك هذه المواد لتكون صخراً واحداً. والفرق بين الكونجلومرات والبريشيا هو أن الأولى مكونة من قطع مستديرة من الصخور

تتفاوت أحجامها. ويرجع استدارة هذه القطع إلى نقلها بواسطة المياه الجارية من مصادرها الأصلية إلى مكان الإرساب. أو بمعنى آخر أنها تكونت نتيجة تماسك رواسب نهرية أو شاطئية منقولة على مسافة بعيدة من مصادرها الأصلية. أما الثانية (البريشيا) فتكون من قطع محدبة حادة الزوايا أو شبه حادة غير مهذبة من الصخور. وتنتج البريشيا عن تهشم الصخور وبقائها عند أو بالقرب من مصادرها الأصلية، كما أن المادة اللاحمة تكون في أغلب الأحيان عبارة عن مركبات معدنية ترسبت من محاليلها المائية.

الصخور الطينية Argillanceous Rocks: وتشمل الرواسب التي يقل متوسط قطر حبيباتها عن ٠,٠٥ ملليمتر مهما كان نوع المادة المكونة لها. ويطلق على الرواسب المفككة لفظ غرين أو طين التي تتكون من معادن طينية (سليكات الألومنيوم المائية) يصاحبها حبيبات دقيقة من فتات الصخور والمعادن. وقد تحتوي الصخور الطينية على بعض المواد العضوية متحللة تعرف باسم الدوبال، أو نباتية متفحمة أو مواد جيرية. أما اللون الأسود الذي يغلب في كثير من الصخور الطينية فيرجع إما إلى انتشار ذرات نباتية متفحمة أو ذرات من كبريتور الحديد. وهناك أنواع من الطين يسودها اللون الأحمر أو الأصفر أو الأخضر لوجود مواد ملونة بها كأكاسيد الحديد أو المنجنيز، وقد يحتوي أيضاً على نسبة مختلفة من كربونات الكالسيوم (الجير)، وقد ترتفع هذه النسبة في الطين فتسمى طين جيري أو طفل. أو يختلط الطين بذرات دقيقة من الكوارتز فتكسبه اللون الأصفر ويسمى طين رملي أو طين أصفر. على أن أنقى أنواع الطين المعروف بالطين الصيني China Clay وهو الذي تصنع منه الأواني الخزفية الجيدة (الصيني). وهذا النوع ينتج مباشرة من تحلل معادن الفلسبار.

ويحتوي الطين عادة على نسبة من الماء تقترب من ١٥٪ فإذا ما فقدتها أي جفت تصبح كتلة صخرية صلبة يطلق عليها حجر طيني Claystone وقد تكون من الصلابة تبعاً للضغط الواقع عليها من طبقات رسوبية تعلوها فيتخذ الصخر شكلاً يتكون من صفائح رقيقة ينفصل بعضها عن بعض لأقل ضغط يقع

على الصخر وهذا يسمى حجراً طينياً صفحياً Shale وتتكون هذه الصفائح الرقيقة عادة من معادن الميكا التي تتخذ وضعاً مرتباً في مستويات متوازية. والفرق بين النوعين يرجع إلى الاختلاف في العوامل المتحكمة في إرساب المواد في أول الأمر. فالحجر الطيني يتكون نتيجة ارساب مواد متجانسة إرساباً مستمراً أي تحت عوامل واحدة وظروف متشابهة لمدة طويلة، بينما يتكون الحجر الطيني الصفائحي نتيجة رسوب متقطع من مواد مختلفة بحيث تختلف كل صفحة منها عما يليها في مادتها أو حجم ذراتها تبقى كل صفحة منها غير مندمجة مع ما يليها.

التالوس Talus: وهي رواسب طبيعية ميكانيكية غير متماسكة تنتج عن تهشم الصخور. وتتكون عادة من قطع مختلفة الأحجام والأشكال وتتراكم عند سفوح الجبال والانحدارات الشديدة تحت تأثير عامل الجاذبية.

٢ ـ الصخور الرسوبية الكيميائية :

يتكون هذا النوع من الإرسابات من مركبات معدنية من محاليلها المائية بفعل التبخر. ويغلب وجود هذا النوع من الصخور في الجهات الحارة حيث يختلف الميزان بين سرعة التبخر في مياه البحيرات وبين ما يصل إليها من أمطار يعوضها عما تفقده من مياه. وتشمل رواسب هذا النوع: الملح، بعض أنواع الحجر الجيري، بعض رواسب الحديد، رواسب الينابيع المعدنية.

أ ـ الرواسب الملحية: يقصد برواسب الأملاح رواسب كلوريدات وكبريتات وكربونات الصوديوم والبوتاسيوم وكبريتات الكالسيوم والمغنسيوم. وتترسب هذه الأملاح من مياه البحيرات الملحة والأذرع البحرية المحصورة والمعرضة للتبخر الشديد والتي لا يرد إليها من المياه ما يعوضها عما فقدته منها. رواسب الأملاح تتخذ اللون الأبيض إذا كانت نقية أو تتخذ ألواناً مختلفة إن وجدت شوائب بها.

ب ـ الرواسب الجيرية الكيمائية: وتنشأ هذه الرواسب بفعل التبخر من مياه كانت مذابة بها مادة كربونات الكالسيوم ثم فقدت هذه المياه ثاني أكسيد الكربون المذاب فيها. ومن أمثلتها رواسب العيون الجيرية التي تسمى برواسب الترافرتين ورواسب الكهوف في بعض المناطق الجيرية وهي الرواسب المعروفة بالاستلاكتيب والاستلاجميت التي هي عبارة عن أعمدة تتدلى من سقوف الكهوف وأخرى تقف على أرضيتها مكونة أعمدة من مادة كربونات الكالسيوم المتبلورة.

٣ ـ الصخور الرسوبية العضوية:

يشمل هذا النوع من الصخور الرسوبية تلك الرواسب الثانوية التي تكونت من مواد خلفتها النباتات أو الحيوانات. وقد يتكون مثل هذه الصخور بطريقة طبيعية أي نتيجة تراكم هذه المخلفات وموادها الصلبة أو قد تتكون نتيجة لعمليات كيميائية حيوية Biochemical تؤدي إلى ترسبها. وتختفي هذه الرواسب تماماً في الجهات الصحراوية الجافة ولكنها تتراكم فوق قاع البحر غير أن بعضها يترسب كذلك في المياه العذبة. ويمكن تقسيم الصخور العضوية حسب تركيبها الكيميائي إلى أنواع مختلفة أهمها:

أ ـ الفحم الحجري والرواسب الفحمية Coal, Linginite, Peat: وتشمل كل الرواسب ذات الأصل العضوي التي تتكون أساساً من مؤاد كربونية (تتراوح نسبة الكربون بها من ٧٥ إلى ٩٠٪) ويوجد الفحم الحجري عادة في طبقات تتخلل طبقات أخرى من الصخور الرملية والطينية تتبع العصر الجيولوجي المعروف بالعصر الفحمي والذي يعتقد أن الظروف الجوية فيه كانت ملائمة لنمو الأشجار والغابات في مساحات شاسعة من اليابس. والفحم الحجري ذو لون أسود لامع تتميز طبقاته بنسيجها المختلف من مواد نباتية متحللة متعددة الأنواع، وهو سريع الكسر ومكسره محاري وتتراوح نسبة الكربون بيه بين ٧٥ ـ

٩٠٪. ويتميز كذلك بأنه يحترق بسهولة فيعطي لهباً صافياً. وهناك مواد أخرى تنتج عن تراكم النباتات يمكن اعتبارها درجات بين الرواسب النباتية والفحم الحجري مثل اللجنيت Linginite أو الفحم الكاذب وهو عبارة عن رواسب نباتية ذات صلابة تحتوي على ٥٥٪ إلى ٧٥٪ من الكربون، ويتراوح لونها بين البني والأسود. كذلك تعتبر المادة المعروفة باسم البيت Peat من ضمن الرواسب الفحمية المفككة التي تكدست من مواد نباتية في المستنقعات بالمناطق المعتدلة والباردة وتندر في المناطق الاستوائية. وتتميز رواسب البيت بأن الألياف النباتية لا تزال تحتفظ بشكلها وتركيبها الأصلي، كما تبلغ نسبة الكربون فيها حوالي ٦٠٪.

ب ـ صخر الفوسفات: وهو صخر رسوبي يتركب من فوسفات الكالسيوم مع مواد أخرى. وهو يتكون في أول الأمر من تراكم عظام حيوانات فقرية برية وبحرية ومن أسماك وزواحف تم تحولها بمضي الوقت إلى فوسفات الكالسيوم. ومن المعروف أن عظام الحيوانات البحرية تحتوي في المتوسط ٦٠٪ من فوسفات الكالسيوم الذي تستخلصه من مياه البحر وتستعين به في بناء أصدافها وهياكلها. وصخر الفوسفات يوجد في طبقات تستغل اقتصادياً على نطاق واسع إذ تستعمل كسماد لكثير من الأراضي التي تفتقر تربتها لنمو بعض أنواع الزراعات.

جـ ـ الصخور الجيرية العضوية: وهذه هي أهم أنواع الصخور الجيرية وأكثرها انتشاراً في الأرض. ويرجع تكوينها إلى قدرة بعض أنواع الحيوانات والنباتات على استخلاص المادة الجيرية (كربونات الكالسيوم) من مياه البحر وتحولها إلى خلايا ومحارات تحمي بها أجسامها الرخوة، وعندما تموت تتحلل أجزاؤها الرخوة وتبقى أجزاؤها الصلبة لتتراكم على قاع البحر مكونة رواسب جيرية تتحول بمرور الزمن والضغط الناشىء من الإرسابات فوقها إلى الصخور الجيرية الواسعة الانتشار. ومن أمثلة هذه الصخور الحجر الجيري النوموليتي Nummulitic الذي يتكون من محارات مستديرة متفاوتة في الحجم. والطباشير

وهو يتكون من ذرات دقيقة من طين جيري غني بمحارات دقيقة وحيدة الخلية وهو ناصع البياض ولقلة صلابته يترك أثراً أبيض عند ملامسته.

ثالثاً: الصخور المتحولة:

يعرف التحول Metamorphism بأنه استجابة الصخور الصلبة النارية أو الرسوبية لتغيرات الحرارة المرتفعة جداً أو الضغط الشديد أو الاثنين معاً أو الظروف الكيميائية التي تحدث عادة بعيداً عن مناطق تأثير التجوية. وينتج عن هذه الاستجابة أن يكتسب الصخر الأصلي صفات جديدة من حيث التركيب المعدني والنسيج لم تكن له من قبل، فالصخور النارية مثلاً تكتسب نسيجاً آخر غير الذي كان مميزاً لها قبل التحول وهو التوزيع المنتظم للبلورات الذي يتخذ شكلاً آخر بعد التحول فيكون مرتباً بطريقة تناسب الظروف الجديدة، أما الصخور الرسوبية فتزيد صلابتها عندما تتحول وذلك نتيجة لازدياد تبلورها وتلاشي ما بين طبقاتها من حفريات.

وهذا التحول يحدث في الصخور نتيجة لفعل ثلاثة عوامل هي الحرارة والضغط أو كلاهما، وفي كل حالة من حالات التحول يلعب الماء دوراً كيميائيات هاماً في عمليات التحول.

أ ـ التحول الحراري Thermal Metamorphisn: وهو يطلق بوجه عام على التحول الناتج عن الحرارة التي مصدرها قد يكون نتيجة ازدياد العمق في باطن الأرض أو وجود صهير قريب أو ملاصق لصخور نارية أو رسوبية ويتبع هذا النوع ذلك التحول الناتج من ملامسة صهير ساخن أو الناتج من احتكاك الصخور الأصلية بمواد الصهير المتداخلة ويطلق عليه تحول التلاصق أو التحول الاحتكاكي Contact Metapophisn.

ب ـ التحول الديناميكي Dynamic Metamorphism: وينتج هذا التحول من الضغط. وللضغط مصادر، فقد يكون نتيجة مباشرة أو غير مباشرة للجاذبية

ويقصد بهذا ازدياد الحمل على الصخر نتيجة ازدياد سمك طبقات الصخور الرسوبية أو لخروج طفح بركاني سميك. وفي كثير من الأحيان يكون الضغط مصدره القوى الداخلية المكونة لسلاسل الجبال حيث تنثني الصخور وتتكسر على طول محور السلاسل الجبلية أي أن التحول يكون نتيجة لتغير الأوضاع، ويطلق عليه تعبير التحول الموضعي Dislocational Metamorphism. وصخور هذا النوع لها نسيج مميز تكون فيه المعادن مهشمة.

ج - التحول الديناميكي الحراري Dynamothermal Metamorphism):
يحدث هذا التحول عندما تنتاب القشرة الأرضية تقلصات على نطاق واسع نتيجة تفاعلات داخلية في جوف الأرض تجعل الصخور تحت ضغط وحرارة شديدين. ونسيج الصخور المتحولة تحت هذه الظروف وسطاً بين ذلك الذي ينتج عن الضغط أو الحرارة منفردين، فتكون عادة كاملة التبلور وبلوراتها مرتبة في خطوط مستقيمة: وهذا النوع يحدث عندما ينتاب مناطق ممتدة من الأرض تتكون من طبقات رسوبية فحين تتحول هذه الطبقات الرسوبية إلى حالة ليونة أو قد تتحول إلى حالة منصهرة فيسمى هذا بالتحول الإقليمي Regional Metamorphism.

وتعتبر الوسائل ذات النشاط الكيميائي من أهم العوامل في عمليات التحول بأنواعها حيث أن التفاعلات التي تحدث في عمليات التحول لا تتم بدون إذابة جزئية أو كلية لبعض المعادن. والماء هو عادة أهم مكونات هذه السوائل إلا أنه يزداد قوة في بعض الأحيان عندما يكون محملاً بثاني أكسيد الكربون وحامض الأيدروكلوريك الذي يتصاعد من الأصهرة النارية بجوف الأرض. ويطلق على عملية التحول التي يشترك فيها المياه المعدنية الساخنة اسم التحول الحراري المائي Hydrothermal Metamorphism، أما إذا اشتركت في عملية التحول الغازات الحارة والأبخرة الساخنة فإن عملية التحول تعرف باسم التحول الحراري الغازي (البنوماتوليتي) Pneumatolitic Metamorphism.

وفيما يلي نماذج لأهم أنواع الصخور المتحولة:

النيس Gneiss: وهو في الغالب صخر متحول عن الجرانيت بواسطة الحرارة والضغط الناتجين من تقلصات أرضية عنيفة. ويتركب النيس من تركيب معدني (كوارتز - فلسبار - ميكا) يماثل تركيب صخر الجرانيت إلا أن بللوراته مرتبة في خطوط متوازية بدلاً من أن تكون موزعة بلا نظام. ولذلك فصخر النيس ليس صفائحياً أي لا ينفصل إلى طبقات رقيقة. وهناك أنواع كثيرة من النيس بعضها ذو أصل ناري والبعض الآخر من صخور رسوبية. وفي كلا الحالتين ينشأ النيس نتيجة التحول بفعل الحرارة والضغط الشديدين.

الشست Schist: وهو صخر متحول يتركب من صفائح متلاصقة يسهل فصل بعضها عن بعض. ويرجع ذلك إلى وجود معادن الميكا التي تتداخل في طبقات متوازية المسافات كبيرة يفصلها طبقات من بللورات الكوارتز الدقيقة وينعدم وجود الفلسبار في صخور الشست. ومن أمثلة هذا النوع شست التلك وشست الميكا وجرافيت شست حيث يغلب التلك أو الميكا أو الجرافيت على التوالي. وتنشأ هذه الصخور نتيجة للتحول الديناميكي أو الديناميكي حراري.

الاردواز Slate: وهو صخر متحول بفعل الضغط على صخور طينية أو بركانية، ونسيج الاردواز متبلور غير أن بللوراته دقيقة، ويتميز بأنه ينفصل أو يتشقق إلى صفائح رقيقة متوازية خفيفة التماسك.

الرخام Marble: وهو حجر جيري متحول بفعل الحرارة الناتجة من تدخل صهير ناري، مكون من بللورات متماسكة من الكالسيت (كربونات الكالسيوم). وفعل الحرارة وحده لا يؤدي عادة إلى تبلور الحجر الجيري نظراً لتفكك الكالسيت، وعلى هذا فإن مصاحبة الضغط للحرارة يمنع هذا التحول الأمر الذي يؤدي إلى تبلور الكالسيت إلى بللورات متوسطة أو دقيقة الحجم ومتساوية تقريباً. وبعض أنواع الرخام بيضاء ناصعة لخلوها من المواد الشائبة، بينما البعض الآخر يكتسب ألواناً مختلفة نتيجة اختلاط مواد معدنية أخرى بمكونات

الكالسيوم المكون منها الحجر الجيري الأصلي.

الكوارتزيت: وهو صخر متحول عن الحجر الرملي بفعل الحرارة الناتجة من تدخل مواد مصهورة وينصهر الحجر الرملي في بادىء الأمر ثم يتبلور كتلة واحدة متماسكة من الكوارتز ومن هنا كانت صلابة صخر الكوارتزيت مرتفعة بعكس الحجر الرملي الذي ينكسر بسهولة لتماسك حبيبات الكوارتز بمادة لاحمة أقل صلابة منه.

الأهمية الجغرافية لصخور قشرة الأرض:

إن دراسة التركيب الصخري للقشرة الأرضية تتباين في أهدافها وأساليبها بقدر تباين الأغراض التي تدرس من أجلها، وهي أغراض كثيرة ومتنوعة، فعلى الرغم من أن دراستها تعتبر أساسية في كل فروع الجيولوجيا فإن الجوانب التي يركز عليها الباحث في الجيولوجيا الاقتصادية تختلف عن الجوانب التي يركز عليها الباحث في الجيولوجيا التاريخية أو جيولوجية المياه الأرضية. وعلى الرغم من أن دارس الجغرافيا يهمه كذلك دراسة الصخور فإن الجوانب التي يهتم بها الباحث في جغرافية الثروة المعدنية أو جغرافية البترول تختلف عن الجوانب التي يهتم بها الباحث في الجيومورفولوجيا أو في جغرافية المياه أو جغرافية التربة أو في غير ذلك من الموضوعات المتشعبة التي تتضمنها العلوم الجغرافية.

ولما كانت جغرافية السطح تهتم بصفة خاصة بدراسة أشكال التضاريس وما طرأ عليها من تغير نتيجة لما تعرضت له وما تتعرض له من مؤثرات فإنها تحتاج من غير شك إلى معرفة الطريقة التي يتأثر بها كل نوع من أنواع الصخور إذا تعرض لأي عامل من العوامل التي تؤثر فيه. وقد أوضحنا في دراستنا السابقة أن الصخور تتباين تبايناً كبيراً في خصائصها الطبيعية والكيميائية التي تؤدي إلى اختلاف درجة تأثر كل منها بالعوامل المتشابهة، سواء في ذلك العوامل الباطنية

وما تسببه من حركات في القشرة أو العوامل الخارجية التي تشتمل على عوامل التجوية وعوامل التعرية. ولذلك فإن تنوع الصخور التي تتكون منها قشرة الأرض قد يكون في بعض الأحيان هو المسئول الأول عن اختلاف المظاهر التضاريسية لبعض المناطق المتشابهة في ظروفها الأخرى أو حتى في المنطقة الواحدة التي تتكون من صخور متباينة. فمن الثابت مثلاً أن الحركات الأرضية التي تعرضت لها القشرة في العصور الجيولوجية المختلفة كانت تؤدي إلى انكسار المناطق المكونة من صخور صلبة من نوع الصخور النارية والمتحولة بينما كانت تؤدي إلى التواء المناطق المكونة من صخور رسوبية أقل صلابة فتنتج عنها في الحالة الأولى تكوين أشكال تضاريسية من نوع الوديان الانكسارية والهضاب الانكسارية (الهورست) وغيرها بينما ينتج عنها في الحالة الثانية تكوين جبال التوائية متباينة الأشكال والأحجام. (سيرد تفصيل كل ذلك في الفصول القادمة).

ويلعب التركيب الصخري كذلك أدوار مهمة في تحديد آثار عوامل التعرية وعوامل التجوية، فالمعروف مثلاً، أنه كلما زادت صلابة الصخر زادت قدرته على مقاومة التعرية، ولذلك فكثيراً ما تبقى تكوينات الصخور الصلبة بارزة بعد أن تزيل الرياح أو المياه الجارية أو الجليد أو غيرها من العوامل التكوينات اللينة الأخرى من حولها. ولكن درجة حرارة الصخر وحدها ليست هي الصفة الوحيدة التي تحدد قدرته على مقاومة عوامل التعرية وعوامل التجوية، إذ أن هناك صفات أخرى تتدخل في تحديد هذه القدرة مثل التركيب المعدني للصخر ووجود بعض مناطق الضعف فيه مثل الشقوق والمفاصل، والظروف التي يوجد فيها، فالصخور الجيرية مثلاً أقدر على مقاومة التجوية والتعرية في المناخ الجاف منها في المناخ الممطر. لأنها قابلة للذوبان في مياه الأمطار التي تحمل عند سقوطها بعضاً من ثاني أوكسيد الكربون من الهواء، والعكس صحيح بالنسبة للصخور النارية مثل الجرانيت الذي يكون أقدر على مقاومة التعرية في المناخ الرطب منه في المناخ الجاف، وذلك لأن هذا الصخر سهل التأثر بالتتابع

المستمر لبرودة الليل وحرارة النهار، ولذلك فأنه يكون أقل مقاومة للتجوية والتعرية في هذا المناج منه في المناخ الممطر. ويكفي للدلالة على ذلك أن رمال الصحارى قد نتجت من تجوية الصخور النارية على طول مئات الآلاف من السنين، وأن عوامل التعرية هي التي قامت بعد ذلك بتوزيعها على سطح الأرض، وعلى تراكمها في بعض المناطق بشكل كثبان أو غطاءات رملية.

البــاب الثــانــي

التركيب البنائي للقشرة الأرضية

مقدمة

الفصل الخامس: العوامل الداخلية (الباطنية).

الفصل السادس: العوامل الخارجية (السطحية).

الفصل السابع : حركات القشرة الأرضية ـ أسبابها ومظاهرها .

الفصل الثامن : مناطق الثبات والحركة في القشرة الأرضية.

الفصل التاسع : الغلاف المائي.

الباب الثاني
التركيب البنائي للقشرة الأرضية

مقدمـــة:

يبحث هذا الباب في كيفية وجود الصخور التي سبق أن تكلمنا عنها في القشرة الأرضية. أو بعبارة أخرى دراسة البناء الحالي للقشرة الأرضية من حيث أنواع وأسباب تكوين التواءات (وثنيات) وانكسارات الصخور المختلفة وعلاقاتها الزمانية والمكانية. كما يشمل هذا الفصل دراسة العوامل والمؤثرات (الحركات) التي تؤثر على القشرة الأرضية وتغير في شكلها. ونظراً لأن هذه العوامل تتميز عادة بالحركة فإنها تحتاج إلى طاقة، ومن المعروف أن هذه الطاقة تستمد من الشمس، سواء عن طريق تأثيرها الحالي على سطح الأرض أو عن طريق جزء من هذه الطاقة يكمن في جوف الأرض منذ انفصالها عن الشمس من ملايين السنين. والدليل على وجود هذه الطاقة الكامنة في جوف الأرض ثورات البراكين وحدوث الزلازل. وانفجار الينابيع الحارة بين حين وآخر.

ولقد دلت الدراسات العلمية المختلفة على أن القشرة الأرضية غير ثابتة أو ليست هادئة، وأنه تحدث بها حركات مختلفة يظهر أثرها على مر السنين، وذلك بعدما كان يظن أن سطح الأرض بما عليه من تضاريس ثابت لا يتغير بمرور الزمن بسبب أن تأثير العوامل المسببة لهذه الحركات لا يكون من السهولة ملاحظته على فترة قصيرة محدودة، ولكن مع مرور الوقت يصبح تأثير هذه العوامل واضحاً وجلياً. ومن أمثلة ذلك إرسابات نهر النيل التي يقدر سمكها

بنحو ١٠ أمتار، فلو افترضنا أن النهر يرسب سنوياً ما سمكه ملليمتر واحد من الغرين، فإن هذا الأثر لا يكاد يلاحظ ولكن بعملية حسابية بسيطة نجد أن سمك تربة وادي النيل ودلتاه احتاج إلى عشرة آلاف من السنين على الأقل ليتكون (وهو دليل يظهر أهمية الوقت في توضيح أثر العوامل المختلفة). وكذلك الرياح فإنها تحمل الرمال وترسبها في أماكن أخرى مختلفة قد لا يلاحظ تأثيرها إلا بمرور الزمن، فنجدها تغطي المنشآت المدنية (المنازل في المناطق الصحراوية) أو تبني ظواهر طبيعية كالكثبان الرملية. ومن أمثلة ذلك أيضاً ارتفاع أجزاء من القشرة الأرضية بمقدار يتراوح بين أمتار قليلة ومئات الأمتار والتي تتمثل في الشواطىء المرفوعة Raised Beaches على سواحل القارات أو إضافة كميات من الحمم والطفوح البركانية أو خسف القشرة الأرضية في أجزاء أخرى. ومن أهم أسباب هذه الحركات الأرضية انكماش الأرض وتجعد طبقاتها نتيجة لذلك مما يعرضها إلى جهد Strain كبير تتخلص منه الأرض بالحركات المختلفة، هكذا يتضح أن الثبات في الشكل الخارجي لسطح الأرض ظاهري فقط فالواقع أن شكل هذا السطح في تغير مستمر بفعل العوامل الطبيعية المختلفة على مر السنين والأزمنة. وعلى ذلك يمكن أن نقسم هذه العوامل إلى قسمين رئيسيين هما:

١ ـ عوامل داخلية (باطنية) Endogenetic Factors :

وتنشأ هذه العوامل من الحرارة الكامنة والضغوط المختلفة وما ينتج عنها من تقلصات وحركات أرضية وبراكين وزلازل وأثر كل ذلك في القشرة الأرضية. وبما أن الأرض تعد، كما ذكرنا، جسماً في حالة انكماش مستمر فإن صخورها وطبقاتها تكون في حركة دائمة بطيئة جداً نحو مركز الأرض، وعلى هذا الأساس وجد بالتجربة أن صخور قيعان البحار والمحيطات تتحرك بسرعة نحو مركز الأرض أكبر من السرعة التي تتحرك بها صخور القارات. ونتيجة لهذا الاختلاف في الحركة Differential Movoment تحدث الاضطرابات والاهتزازات المختلفة في المناطق التي تفصل بين المحيطات والقارات إذ أن

هذه المواقع تعتبر مناطق ضعف تنثني عندها طبقات القشرة الأرضية وتنكسر وتحدث بها الانكسارات والشقوق مما يعطي الفرصة للمواد الجوفية المصهورة الواقعة تحت ضغوط عظيمة للخروج عن طريق هذه الانكسارات والشقوق فتصعد إلى سطح الأرض على هيئة طفوح بركانية.

وتعد الحركات الأرضية Earth Movements التي تنشأ بفعل العوامل الباطنية من أهم الظواهر الدالة على عدم استقرار القشرة الأرضية. ومن هذه الحركات ما هو سريع مفاجىء قد ينشأ عنه تغير فجائي في ظاهرات التضاريس يمكن للإنسان مشاهدته، ومنها ما هو بطيء لا يشعر به الإنسان وإنما تدل عليه الشواهد المختلفة. والنوع البطيء عن حركات رأسية أو عمودية إلى أعلى أو أسفل أي ترتفع الأرض أو تهبط عن منسوب أساسي هو منسوب سطح البحر Sea- Level، وتعد المناطق الشاطئية من أفضل الجهات التي يمكن الاستدلال بها علي حدوث ارتفاع أو انخفاض سطح الأرض بالنسبة لسطح البحر. ويعرف هذا النوع من الحركات باسم الحركات البانية (المكونة للقارات) Epierogenic or Continent Building Movements وذلك لأن المساحات التي تتأثر بهذا النوع من الحركات مساحات واسعة، يتألف منها الجزء الأكبر من القارات. كما يكون من نتائجها تقدم البحر Transgression أو انحساره Regression عن القارات. ويساعد على ارتفاع الأرض أو هبوطها Subsidance قابليتها الحركة Mobility وهذا النوع من الحركات هو الذي ينشأ عنه أيضاً تغيير وضع القارات والمحيطات خلال الأزمنة الجيولوجية المختلفة. وقداستطاع الجيولوجيين أن يتعرفوا على هذا النوع من الحركات البطيئة التي أصابت قشرة الأرض على أساس:

١ ـ إذا علا مستوى البحر نتيجة لزيادة مياهه، أو ارتفاع قاعه ظهرت أثناء ذلك على سواحل العالم كله وبدت في مستوى واحد وتعرف هذه الحالة Eustatic Change.

٢ ـ إذا تغير مستوى اليابس نتيجة لارتفاع القشرة أو هبوطها آثار ذلك في منطقة محدودة هي المنطقة التي تأثرت بالحركة وتعرف هذه الحالة Isostatic Change وقد سبق شرح إثبات هذا النوع عند الحديث عن توازن القشرة الأرضية وتوزيع القارات والمحيطات.

أما النوع الثاني من الحركات البطيئة فهو عبارة عن حركات أفقية أو قريبة من الأفقية ينتج عنها التواء الصخور وهي الحركات المسئولة عن تكوين سلاسل الجبال على سطح الأرض وتعرف بالحركات البانية للجبال Orogenic Movements وأهم حركات هذا النوع الحركة الكاليدونية Calidonian Mevement والحركة الهرسينية Hercynain Movement وهما حركتان حدثتا في الزمن الجيولوجي الأول، والحركة الألبية Alpine Movement التي تم حدوثها في أواسط الزمن الجيولوجي الثالث. وسنشرح فيما بعد هذه الحركات وأهم النظريات التي تولت تفسيرها.

٢ ـ عوامل خارجية (سطحية) Exogenetic Factos:

وهي العوامل الطبيعية التي تتمثل في تأثير الغلافين الجوي والمائي في القشرة الأرضية. ومن أمثلة هذه العوامل تغير درجة الحرارة. الرياح، الأمطار، وما ينتج عنها من أنهار وسيول، البحيرات والبحار والأنهار الجيليدية (الثلاجات) وأنواع الحياة من حيوان ونبات. وتستمد هذه العوامل طاقتها أو نشاطها من الشمس وهي في مجموعها تحاول جاهدة أن تهدم سطح الأرض، ولولا تأثير العوامل الباطنية والداخلية التي تعيد ارتفاع أجزاء كثيرة من سطح الأرض لكان هذا السطح الأن ومنذ زمن بعيد مسطحاً وخال من التضاريس. والواقع أن للعوامل الخارجية عملان أحدهما هو العمل الهدمي Destructive ويعرف باسم التعرية Denudation or Erosicn والعمل الآخر عمل إنشائي أو بنائي Corstructive وما يعرف بالترسيب Aggredation or Deposition. وسطح

البحر أو مستوى القاعدة هو أقل مستوى تستطيع قوة الهدم أن تصل بسطح الأرض إليه، كما أنه أعلى مستوى يمكن أن تصل إليه قوة البناء في الترسيب أيضاً. والسبب في أن الاهتمام يوجه بصفة خاصة لتأثير الهدم لأن نتيجته ملموسة في تفتيت الصخور وهدم المرتفعات. بينما نجد أن تأثير قوة البناء أو الترسيب غير ملموس لأنه يحدث تحت سطح البحر في معظم الأحيان.

وتتضمن عملية التعرية على ثلاثة مراحل رئيسية: هي التأثير الجوي على الصخور (التجوية) Weathering والنقل Transporation والنحت أو التآكل Corrasion. أما عملية الترسيب فهي أيضاً تشتمل على ثلاثة أقسام هي: الترسيب الطبيعي Physical Deposition، الترسيب الكيمائي Chemical Deposition، والترسيب العضوي Organic Deposition.

وسيضم هذا الباب إلى جانب عوامل الشكل البنائي للقشرة الأرضية ومناطق الثبات والحركة فيها دراسة مختصرة عن أسباب هذه الحركات وكذلك خصائص الغلاف المائي على سطح الأرض، لما لهذا من فائدة في التعرف على خصائص وأهمية المسطحات المائية التي تتألف من الأجسام الكبرى للمحيطات والبحار ثم البحيرات والأنهار وأغلفة الجليد على سطح الأرض اليابسة والمياه الجوفية أو الباطنية الغائرة في الحيز الخارجي من صخور القشرة الأرضية.

الفصل الخامس

العوامل الداخلية (الباطنية)

العوامل الداخلية (الباطنية)

ذكرنا أن منشأ العوامل الداخلية المؤثرة في سطح الأرض هي الحرارة الكامنة التي يعزى وجودها في باطن الأرض إلى ما تبقى من طاقة الشمس منذ انفصال الأرض من الشمس، أو نتيجة لانكماش الأرض مع مرور الوقت، أو إلى نوع من التغيرات الكيميائية الإشعاعية التي تحدث في جوف الأرض. وتزيد درجة الحرارة كما عرفنا درجة مئوية واحدة لكل لكل ٣٢ متراً بالعمق، ومن ثم فإن درجة حرارة الأرض قد تبلغ عدة آلاف من الدرجات المئوية في الطبقات السفلية تحت القشرة الأرضية حيث تكون المواد في حالة انصهار غير تام أو ما يعرف بالصهير Magma التي تعمل دائماً على صهر ما فوقها من صخور، ألا أن الضغط الهائل الواقع على هذه المواد المنصهرة يمنع تماماً انصهارها، ولكن بمجرد حدوث أي تعديل في حالة درجة الحرارة والضغط الواقع على أي جزء في باطن الأرض فذلك يؤدي إلى زيادة المواد المنصرة والتي إذا عرفت طريقها إلى سطح الأرض نتيجة نشاط بركاني مثلاً فإنها تعرف في الحالة باسم اللافا Lava. وقد سبق أيضاً الكلام عن حالة عدم استقرار باطن الأرض والتي ذكرنا أنها تكون في الغالب نتيجة لتغير حالة التوازن في القشرة الأرضية المحيطة به من وقت لآخر وتنتاب القشرة الأرضية من جراء عدم استقرار الباطن حركات تظهر فيها ظواهر تؤثر فيها تأثيراً واضحاً.

وتنقسم هذه الظواهر إلى نوعين رئيسيين:

١ ـ التقلصات الأرضية البطيئة.

٢ ـ الحركات الفجائية السريعة.

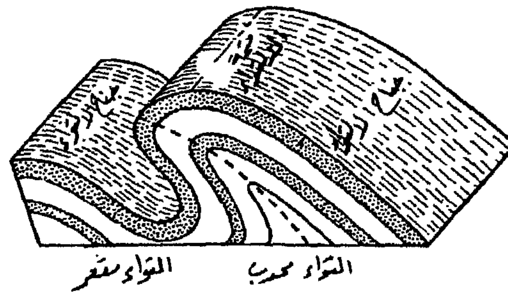
أولاً: التقلصات الأرضية البطيئة:

وقد اتفق على تقسيمها إلى قسمين: حركات التوائية Orogenic تعمل في حركة أفقية وتؤدي إلى التواء الصخور وانثنائها، وحركات رأسية Epierogenic تعمل على رفع القارات. وهذان النوعان يرتبطان ببعضها ارتباطاً يكاد يكون تاماً. فالحركات الرأسية سواء كانت إلى أعلى أو إلى أسفل يصحبها في العادة حركات أفقية والعكس صحيح. وتنشأ هذه الحركات من قوى الضغط والشد التي تتعرض لها الصخور داخل القشرة الأرضية وينتج عن ذلك أن الصخور تنثني أو تتفلطح Flatten أو تنكسر. وانثناء أو تجعيد الصخور يكون ما يعرف بالالتواءات Folds بينما يكون كسر هذه الصخور يكون على هيئة انكسارات Faluts. وتندرج ظاهرات التواء وتفلطح الصخور تحت ما يعرف بانسياب الصخور Rock Flowage الذي يعني التغير الكامل في شكل الصخر نتيجة للضغط الواقع عليه دون حدوث أي انكسار ظاهر. ولقد تعرف الجيولوجيون على نطاقين يظهر فيهما آثار كل من الالتواءات، والانكسارات: نطاق الانسياب Zone of Flowage وهو يوجد على أعماق كبيرة داخل القشرة الأرضية، ويحدث فيه التواء الصخور دون أن تنكسر بسبب الثقل الهائل الواقع عليها، ونطاق التكسر Zone of Fracture ويوجد في الأماكن على السطح أو القريبة من السطح التي تتعرض للانكماش وما يتبعه من قوى شديدة تؤدي إلى تكسير صخور هذه الأماكن. وعلى كل حال لا يجب اعتبار العمق عاملاً مطلقاً في تحديد ظواهر الحركات البطيئة. فهناك عوامل أخرى تتحكم في التواء أو كسر الصخور، فمنها مثلاً المميزات الطبيعية للصخر ومقدار قوة الضغط أو الشد الذي يتعرض له. فمثلاً إذا تعرض صخر صلب قرب سطح الأرض (أي في نطاق التكسر) لضغط بطيء جداً، فمن المحتمل أن يلتوي هذا الصخر دون أن يكسر. كذلك قد يحدث العكس إذا تعرض صخر شبه سائل (في حالة مرنة) على أعماق بعيدة (أي في نطاق الانسياب) لانكماش عامل الالتواء إلى أقصى حد ممكن فإنه ينكسر بعد ذلك طالما زاد الضغط عليه ولو زيادة بسيطة.

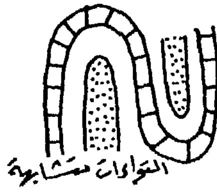
الالتواءات Folds:

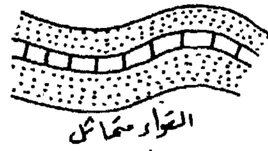
تتركب الالتواءات من أجزاء محدبة Anticline وفيها تكون الطبقات متجهة إلى أعلى وتميل هذه الطبقات في اتجاهين متضادين بالنسبة إلى محور أفقي، وأخرى مقعرة Sybcline وهي عبارة عن محدب مقلوب أي أن الطبقات تنحني إلى أسفل وتميل في اتجاهين متقابلين في محوريهما (شكل رقم: ١ـ٥). وتعرف جوانب الالتواء سواء كان محدباً أو مقعراً بالأطراف Limbs، أما المحور فإنه يوجد في وسط الالتواء تماماً ويمكن وصفه بأنه الخط الذي يمر على طول قمة الالتواء.

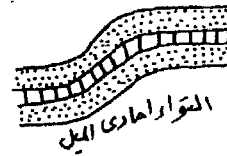
وقد تكون الالتواءات متماثلة Symmetrical وذلك عندما تكون زاوية ميل الطبقات على جانبي المحور متساوية. أما إذا اختلفت زاوية ميل الطبقات لأحد طرفي الالتواء عنها للطرف الآخر أي إذا كان الميل في جانب منها أكثر منه في الجانب الآخر فإن الالتواء يكون غير متماثل Asymmetrical. وعادة ما تكون الضغوط التي تكون مثل هذا النوع من الالتواءات قد جاءت من جانب واحد وهو الجانب القليل الميل أو البطيء الانحدار. ومن الالتواءات غير المتماثلة نجد نوع يكون له طرف واحد، أي أن الطبقات تميل في اتجاه واحد، وهذا يكون التواء بسيط موضعي، تكون في جزء من طبقات أفقية. وفي بعض الأحيان تصبح أطراف الالتواءات متوازية تقريباً وفي هذه الحالة تسمى هذه الالتواءات: التواءات متشابهة أو متوازية Isoclinal Folds وقد يزيد مقدار عدم التماثل بحيث يزيد الميل في أحد أطراف الالتواء عن ٩٠ وفي هذه الحالة يصبح أحد طرفي الالتواء تحت الطرف الآخر ويسمى الالتواء المقلوب Overturned Flod وقد تزيد هذه الحالة بحيث يصبح طرفي الالتواء في وضع يقترب من الوضع الأفقي ويعرف الالتواء في هذه الحالة بالالتواء النائم أو المستلقي Recumbent وإذا زاد الثنى عن ذلك انكسر الالتواء على سطح معين Thrust

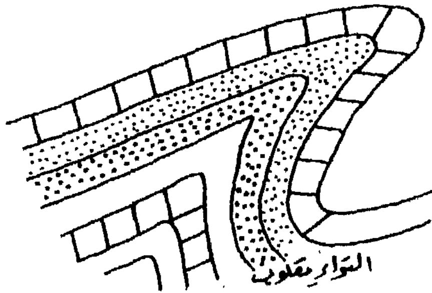


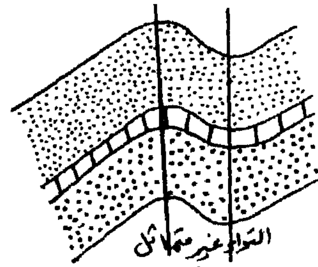
(شكل رقم: ١ ـ ٥) مكونات الالتواء

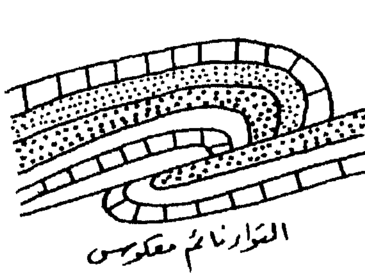


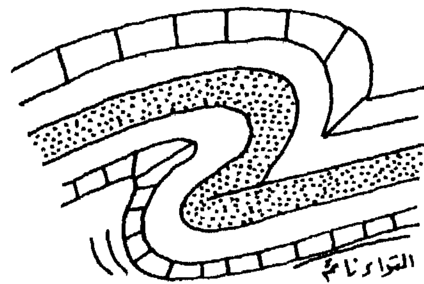












(شكل رقم: ٢ ـ ٥) أنواع الالتواءات

وسمي التواء نائم مكسور أو منزلق Overthrust Fold Plane. (شكل رقم: ٢ ـ ٥).

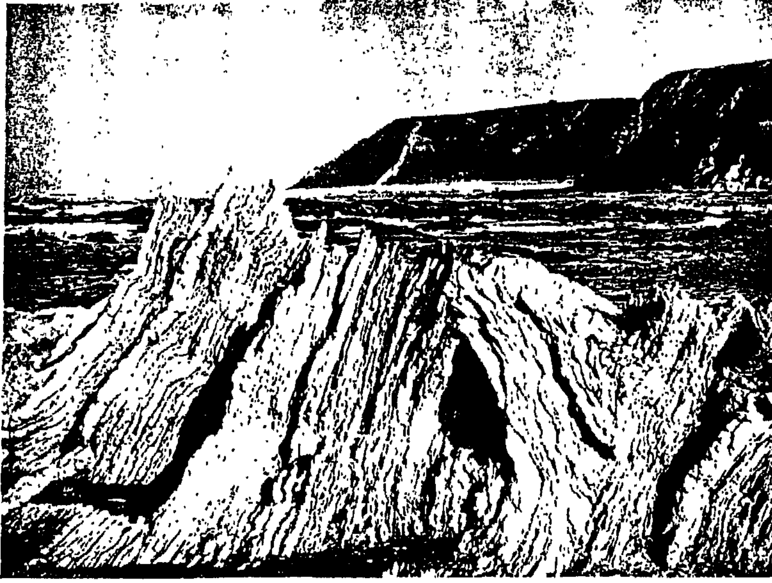
ويظهر تأثير الالتواء بأنواعه المختلفة بصورة واضحة على نظام ترتيب الطبقات الصخرية والذي ينعكس على الصورة التضاريسية لمناطق هذه الالتواءات بعدما تتعرض لعوامل التعرية لا سيما التعرية النهرية. وعلى ذلك فلا يشترط في المناطق التي تعرضت للالتواءات أن تكون المرتفعات التضاريسية كالجبال مكونة من التواءات مقعرة بينما تشق الأنهار أوديتها في الالتواءات المحدبة (شكل رقم: ٨ ـ ٥) وتسمى هذه بظاهرة انعكاس التضاريس Relief Conversion وهي ظاهرة قليلة الحدوث ولا توجد إلا في مناطق الجبال الالتوائية القديمة التي مرت على تكوينها مئات الملايين من السنين ومنها مناطق الجبال الموجودة في شمال غرب أوروبا. ويرجع ذلك إلى أن تأثير عوامل التعرية يكون شديد في الالتواءات المقعرة أكثر منها في الالتواءات المحدبة لأن قمم الالتواءات المحدبة تمثل منطقة شد لاستطالة الصخور عند انثنائها إلى أعلى مما يؤدي إلى تشققها وسهولة نحتها وتآكلها بفعل العوامل المختلفة. بينما يؤدي الضغط في الالتواءات المقعرة إلى تقصير المسافات في الصخور وبذلك تتماسك وتصبح أكثر مقاومة لعوامل التعرية (شكل رقم: ٩ ـ ٥).

ومن المظاهر التضاريسية الكبرى في القشرة الأرضية تلك الجبال الالتوائية المختلفة التي تشاهد في كثير من بقاع الأرض والتي تدل الشواهد على أن الحركة التي أدت إلى وجودها لم تحدث في زمن جيولوجي واحد، وإنما حدثت في أزمنة وعصور جيولوجية مختلفة وربما لا تزال تعمل حتى الآن. ولهذا تقسم الالتواءات الكبرى للقشرة الأرضية حسب عمرها الجيولوجي إلى الأنواع الثلاثة الآتية: (شكل رقم: ١١ ـ ٥).

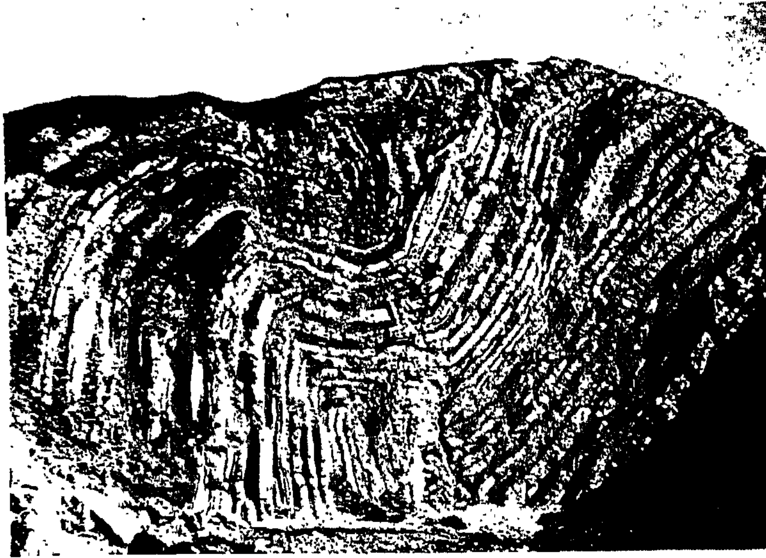




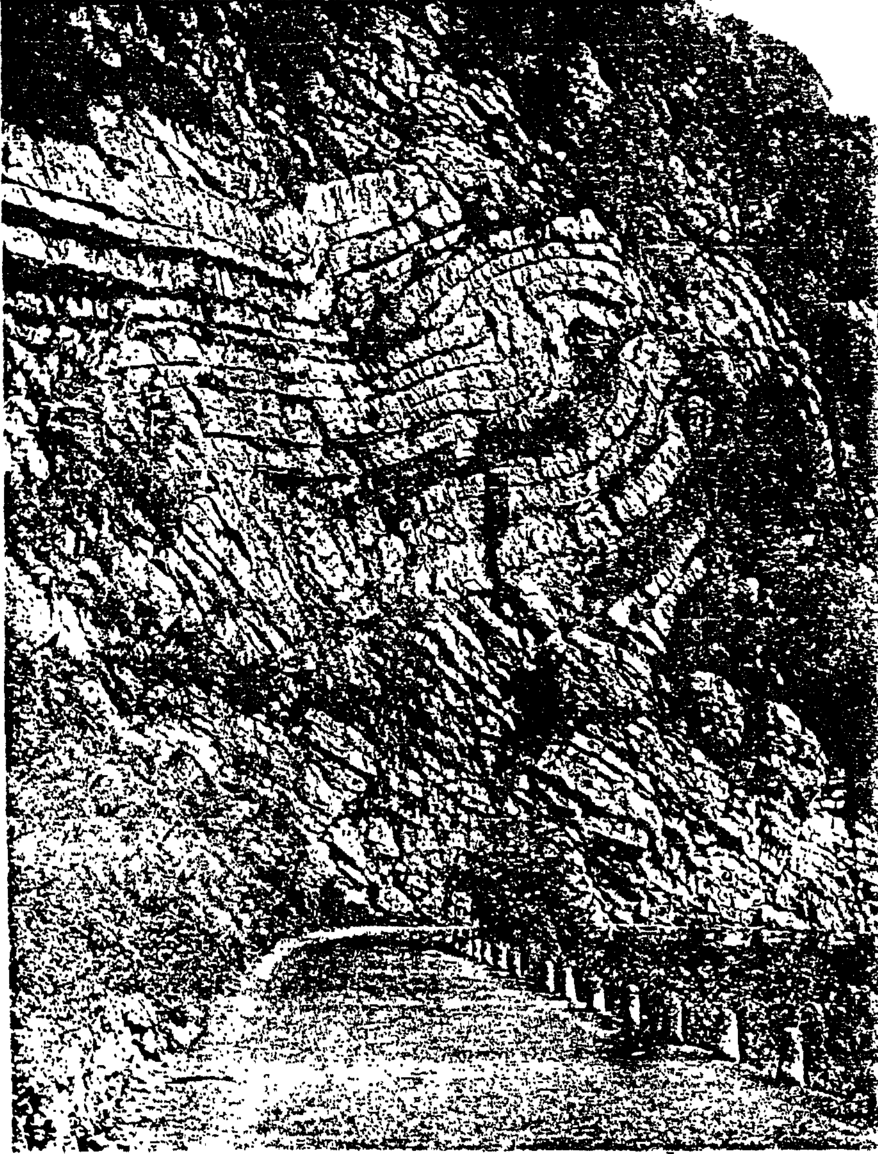
(شكل رقم: ٣ ـ ٥) الالتواءات المحدبة والمقعرة



(شكل رقم: ٤ ـ ٥) أحد الالتواءات المحدبة الصغيرة في صخر الحجر الجيري

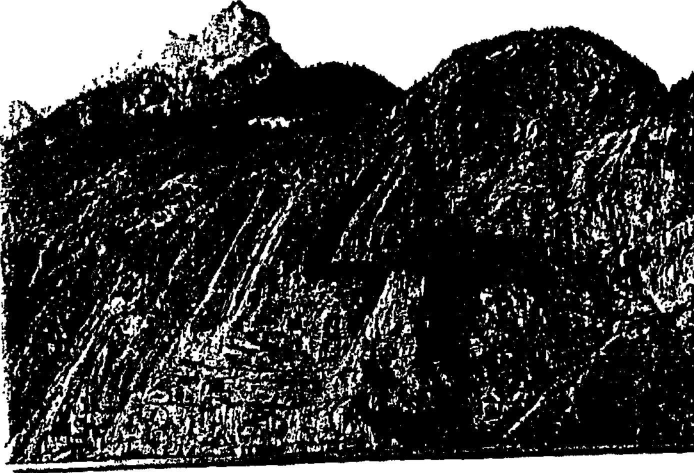


(شكل رقم: ٥ ـ ٥) طبقات عامودية تقريباً

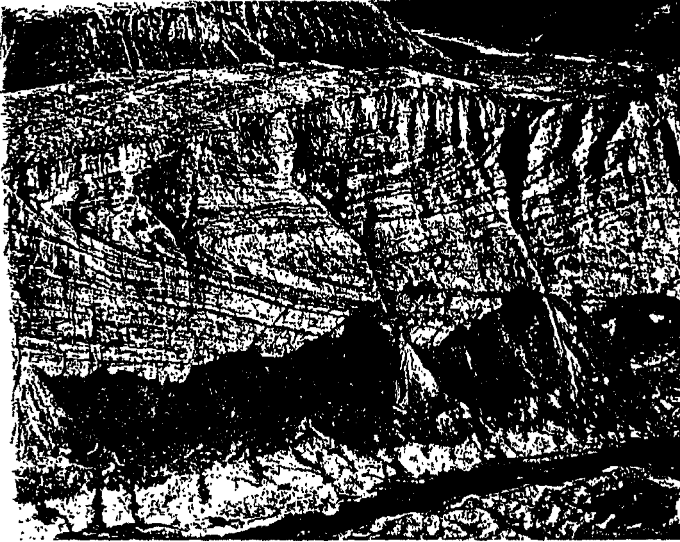


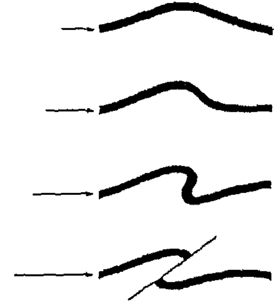
(شكل رقم: ٦ ـ ٥) التواء نائم ـ لاحظ أفقية طرفي الثنية

(أ)



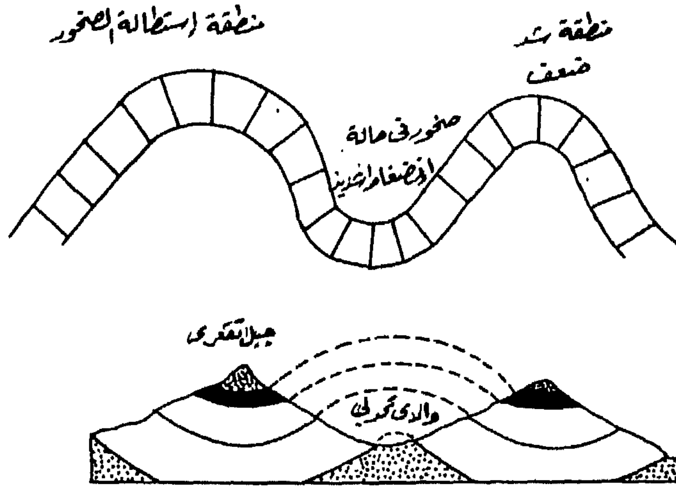
(ب)





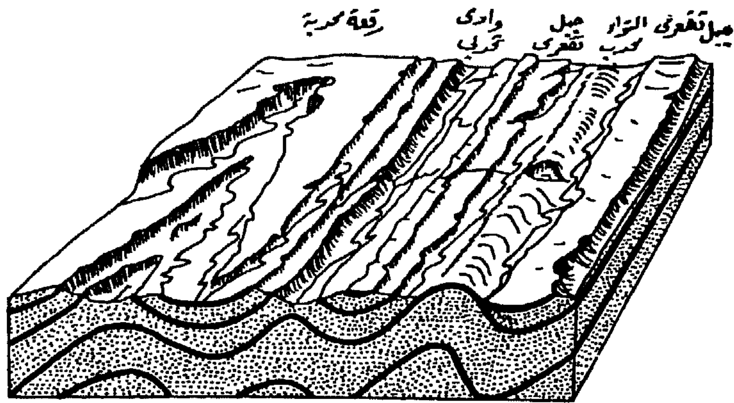
(شكل رقم: ٧ ـ ٥) (أ) التواء مقعر مقلوب في صخور الحجر الجيري. (ب) التواء قائم أو مستلقي في منطقة يبلغ ارتفاعها ٨٠٠ متر.

١ ـ الالتواءات الكاليدونية Caledonian folds وهي التواءات حدثت في منتصف الزمن الجيولوجي الأول، في أواخر العصر السيلوري وأوائل العصر الديفوني. وتتمثل مرتفعات هذه الالتواءات في المرتفعات الشمالية الغربية لقارة أوربا (جبال اسكندناوة ومرتفعات اسكتلندا وشمال إيرلنده).

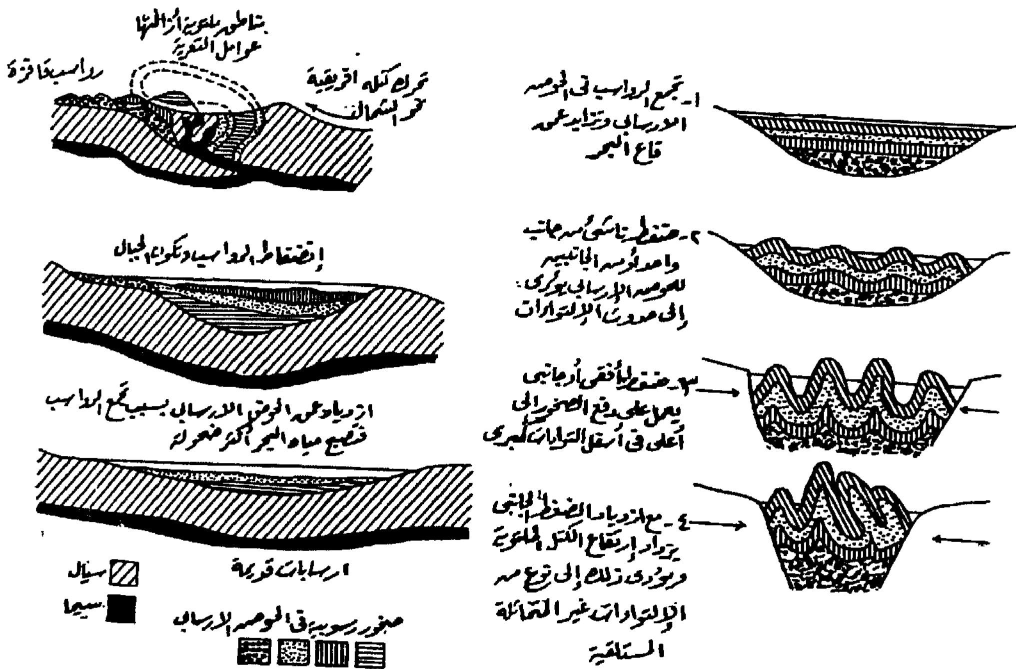


(شكل رقم: ٨ ـ ٥) تكوين الأودية في مواقع الالتواءات المحدبة والجبال في أماكن الالتواء المقعرة

٢ ـ الالتواءات الهرسينية Hercynian folds وهي التواءات تكونت في أواخر الزمن الجيولوجي الأول في أواخر العصر الفحمي وأوائل العصر البرمي والاتجاه العام لهذه الالتواءات من الشرق إلى الغرب. وتتمثل هذه الالتواءات في نطاق الهضاب الوسطى في قارة أوربا (هضبة فرنسا الوسطى وهضبة بوهيميا) ومرتفعات جنوب إيرلنده وجنوب انجلترا، كما تنتمي إليها مرتفعات الابلاش في شرق أمريكا الشمالية. ويطلق على هذه الالتواءات في الجزر البريطانية وشمال غرب فرنسا اسم الالتواءات الأرموركية Armcrican أما في بقية أوروبا فتسمى بالالتواءات الفارسكية Variscan أو الهرسينية.



(شكل رقم: ٩ ـ ٥)مرحلة متقدمة من مراحل تعرية الطبقات الملتوية (الطبقة السوداء أشد مقاومة لعوامل التعرية من غيرها. فحفظت أشكالها المقعرة في صورة حافات).



(شكل رقم: ١٠ ـ ٥) الخطوات التي يتم بها تكوين الجبال الالتوائية نتيجة انضغاط الرواسب في الحوض الارسابي القديم Geosyncline

التواءات العصر الثلاثي

الالتواءات الهرسينية

الالتواءات الكاليدونية

الكتل الصلبة (ما قبل الكمبري)

(شكل رقم: ١١ ـ ٥) توزيع الحركات الالتوائية الكبرى في العالم

٣ ـ الالتواءات الالبية Alpine folds وهي أحدث الالتواءات التي تأثرت بها القشرة الأرضية، وتكونت في منتصف الزمن الجيولوجي الثالث في عصر الميوسين وتتمثل في السلاسل الجبلية العظمى كجبال الألب والهيملايا والروكي والانديز وجبال أطلس وهي جبال عظيمة الارتفاع لأن عوامل التعرية لم تستطع أن تؤثر فيها كما أثرت في الالتواءات الكاليدونية والهرسينية الأقدم عمراً.

الانكسارات Faults:

ذكرنا أن الالتواءات تحدث نتيجة للضغط الجانبي على طبقات الصخور، ولكن إذا تعرضت الصخور لضغوط شديدة مفاجئة فإنها تنكسر وتتشقق، ومن ناحية أخرى إذا خضعت صخور منطقة من المناطق لقوى الضغط فإن ذلك ينتج عنه تعرض منطقة أخرى لقوى الشد Strain فإذا بلغ هذا الشد حداً لا تحتمله الصخور انكسرت وانفلقت. على أن الانكسار قد يحدث أيضاً نتيجة الضغط على الصخ، إذا بلغ حداً يفوق ما يحتاجه الصخر للانثناء كما سبق أن ذكرنا.

والانكسارات[١] إذن هي عبارة عن أسطح تنكسر عليها كتل الصخور، أو شقوق في القشرة الأرضية تكون مصحوبة في العادة بانتقال أو اختلاف في منسوب الطبقات الصخرية Displacement على جانبيها. وقد يصل اختلاف المنسوب إلى عدة مئات من الأمتار في بعض الأحيان ولكن ذلك لا يحدث في العادة نتيجة حركة واحدة ولكن على عدة مرات.

وتأثير الانكسارات على الصخور يبدو في التغير الرأسي في المنسوب أي هبوط جزء من الصخر بالنسبة للجزء الآخر على جانبي الانكسار، ومقدار هذا التغير يسمى رمية أو مرمى الانكسار Throw of Fault والتغير الأفقي في وضع الطبقات أو الزحف الجانبي للطبقات Heave or Lateral Fault (شكل رقم: ١٢ ـ ٥). وهناك عدة تعريفات يجب الالمام بها عند دراسة الانكسارات

(١) يطلق على الانكسارات تعبير «الصدوع» أو «العيوب» أو «الفوالق».

مثل: الجانب الهابط Down Throw Side وهو الجانب الذي هبطت فيه الطبقات عن الجانب الآخر. الحائط المعلق Hanging Wall وهو كتلة الصخور التي تعلو سطح الانكسار مباشرة، وهو جسم الجانب الهابط. الحائط الأسفل Foot Wall وهو كتلة الصخور التي توجد تحت سطح الانكسار مباشرة.

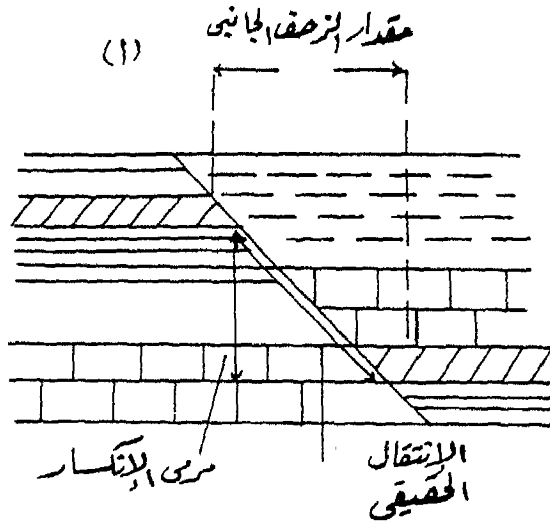
أنواع الانكسارات:

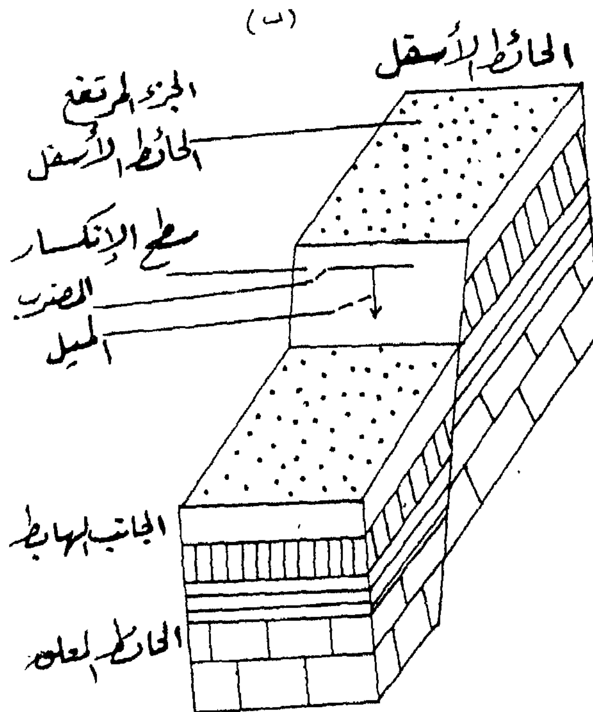
وهي إما انكسارات بسيطة Simple، أو مركبة Compound، وتنقسم البسيطة عادة على أساس انتقال الطبقات على سطح الانكسار إلى:

١ ـ الانكسار العادي Normal Fault ويحدث نتيجة لشد الطبقات Tension وفيه يميل سطح الانكسار نحو الجانب الهابط أو كتلة الصخور الهابطة، وتكون زاوية ميل دائمة كبيرة. ويسبب هذا النوع تمدد محلي في القدرة الأرضية نتيجة زحف الطبقات الجانبي ولذا يعرف هذا النوع بانكسار الشد Tension Fault والذي ينخفض فيه الحائط المعلق بالنسبة للحائط الأسفل.

٢ ـ الانكسار المعكوس Thrust Fault وينشأ هذا الانكسار نتيجة للضغط Compression (يعرف بانكسار الضغط Compression وفيه يميل سطح الانكسار في عكس اتجاه الجانب الهابط أي أنه يميل في اتجاه الجزء المرتفع. وفي هذا النوع يتحرك الحائط المعلق إلى أعلى بالنسبة للحائط الأسفل وعلى ذلك فإنه سطح الأرض يقصر في الأماكن التي توجد بها مثل هذه الانكسارات لأن جزءاً من الطبقات أصبح يغطي الجزء الآخر. ويحدث هذا النوع في الالتواءات النائمة إذا زاد الضغط عليها وتنتقل الطبقات على جانبي الانكسار نتيجة للضغط.

٣ ـ الانكسار العمودي والأفقي Vertical & Horizontal Faults يتميز الانكسار العمودي بأن سطح الانكسار يكون عمودياً، وتنتقل الطبقات تبعاً لذلك انتقالاً عمودياً أي إلى أعلى أو إلى أسفل وبذلك لا يكون هناك حائط معلق أو حائط أسفل، بينما يتميز الانكسار الأفقي بأنه يحدث نتيجة لحركة أفقية، أو قريبة من الأفقية وهو في الغالب نوع نادر الوجود في القشرة الأرضية.





(شكل رقم: ١٢ ـ ٥) المكونات الرئيسية لظاهرة الانكسار

٤ ـ الانكسار الدائري Rotational Fault يحدث هذا النوع عندما يتحرك جزء من كتلة صخرية إلى أعلى ويتحرك جزءاً من نفس الكتلة إلى أسفل، بحيث يكون محور هذه التحركات عمودياً على سطح الانكسار وهو نوع من انكسار التمزق التي تؤدي غالباً إلى حدوث الهزات الزلزالية.

وتوجد الانكسارات المركبة في مجموعات من انكسارين أو أكثر تكون عدة أنواع:

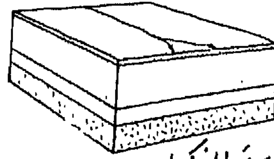
١ ـ الانكسار السلمي أو المتدرج Step- Fault ويحدث نتيجة عدة انكسارات متوازية تهبط الأرض على جانبها هبوطاً منتظماً أو متدرجاً.

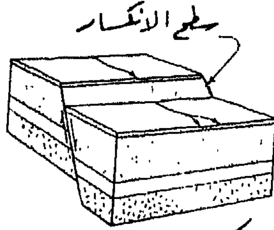
٢ ـ الانكسار الأخدودي (الحوضي) Rift ويحدث نتيجة وجود كسرين متوازيين تقريباً هبطت الأرض بينهما.

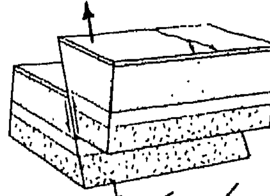
٣ ـ الهورست (الهضبة الانكسارية) Horst وهي عبارة عن منطقة تعرضت لانكسارين متوازين تقريباً هبطت الأرض على جانبي الانكسارين، وبقيت المنطقة الوسطى مرتفعة ولم تهبط فأحدثت بروزاً في وجهة الأرض (شكل رقم: ١٣ ـ ٥).

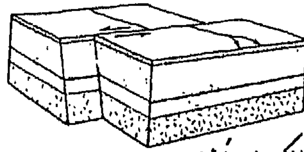
٤ ـ الانكسارات المتقاطعة Cross- Faults، وهي عبارة عن انكسارات تلتقي مع بعضها بزوايا قائمة تقريباً. وهي تؤدي إلى نمط معين في نظام التصريف المائي، حيث تلتقي الروافد بالأنهار التي تتبع بطون الانكسارات زوايا متعامدة كما هي الحال في هضبة شرق أفريقيا، وفي أخدود الراين الأعلى، الذي تتبع روافده اليمنى انكسارات متعامدة على الأخدود الرئيسي.

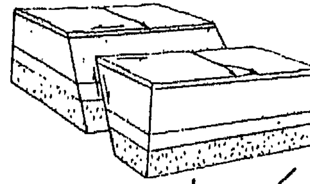
ويصحب حدوث الانكسارات عادة بعض الظواهر في الصخور التي تقطعها أهمها انصقال جوانبها نتيجة الاحتكاك الواقع بين الصخور على جانبي الانكسار من جراء حركة هبوط أحدهما بالنسبة للآخر. كذلك تكوين صخور مهشمة تعرف بصخور البريشيا Breccia وهي عبارة عن قطع من الصخور ذات زوايا محددة تهشمت عند الانكسار واختلطت ببعضهما ثم تماسكت جزئياتها.

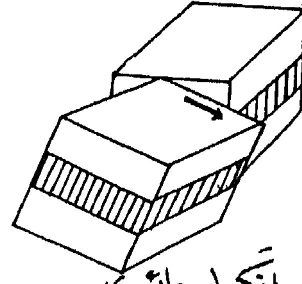




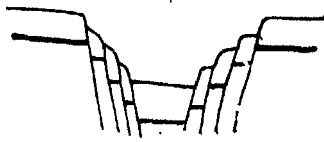














(شكل رقم: ١٣ ـ ٥) أنواع الانكسارات



(شكل رقم: ١٤ ـ ٥) صورة انكسار عادي متعدد في صخور الحجر الرملي



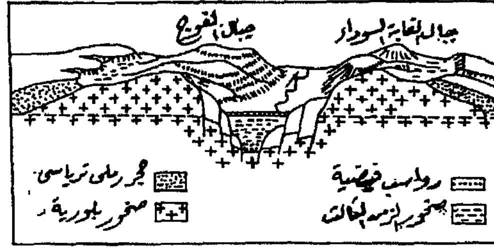
(شكل رقم: ١٥ ـ ٥) صورة انكسار زاحف في صخر الحجر الجيري

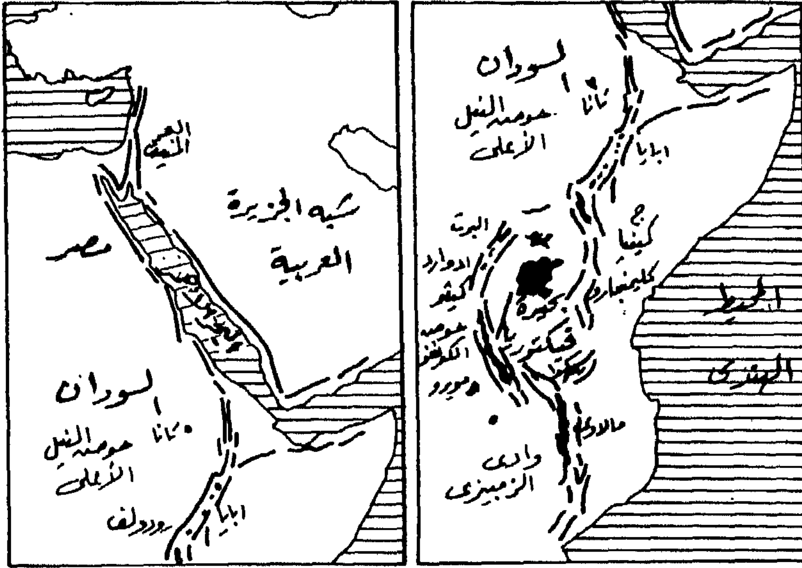
ولما كانت شقوق الانكسارات في بعض الأحيان تخترق القشرة الأرضية لمسافات عميقة فقد تصعد فيها مياه معدنية تؤدي إلى رسوب مواد كالكاسيت تملأ الشقوق الجانبية للانكسار. وقد تكون الانكسارات سبباً في حدوث بروز في وجه الأرض فتتكون بها بعض الحوائط التي تمتد على طول الانكسارات أو بعض الحافات على أن هذه الظواهر لا تبقى طويلاً لأنها تتعرض للتعرية بمجرد تكوينها وبذلك تزول من الوجود.

وهناك علاقة كبيرة بين الانكسارات والأودية، فكثيراً ما يشغل الوادي منطقة انكسارية فيجري ممتداً على طول خط انكسار. وتعد الأخاديد من الظاهرات التضاريسية الهامة التي تنشأ عن الانكسارات. وأحسن الأمثلة لظاهرة الانكسار الأخدودي: الأخدود الذي يشغله وادي الراين (شكل رقم: ١٦ أ ـ ٥) وهو عبارة عن منطقة هابطة نشأت لحدوث مجموعتين من الانكسارات المتوازية أحداهما في الشرق والأخرى في الغرب. ومن أمثلة الأخاديد أيضاً مجموعة الأخاديد التي تمتد في شرق أفريقيا وغرب آسيا وتبدأ من شرق افريقية لتضم البحر الأحمر بخليجيه السويس والعقبة وحوض البحر الميت ووادي البقاع حتى جبال طوروس في آسيا الصغرى (شكل رقم: ١٦ جـ ـ ٥).

الأهمية الجغرافية للانكسارات وأثرها في تشكيل سطح الأرض:

تظهر الأهمية الجغرافية للصدوع في كثير من جوانب الدراسات الجغرافية. فبالإضافة إلى أنها مظهر من مظاهر سطح الأرض فانها هي المسئولة عن تكوين بعض المظاهر التضاريسية والأشكال الجيومورفولوجية المهمة، كما أنها تتدخل كذلك في نظام تصريف المياه السطحية وفي حركة المياه الجوفية وتكوين خزاناتها، وفي تكوين المصائد البترولية، وفي إظهار بعض الثروات المعدنية الموجودة في صخور القشرة ومن الواضح أنها تؤدي كذلك إلى خلق بيئات متنوعة في مناطق حدوثها. وأنها تتدخل في توجيه طرق المواصلات وفي





(شكل رقم: ١٦ ـ ٥) أهم الأخاديد على سطح الأرض

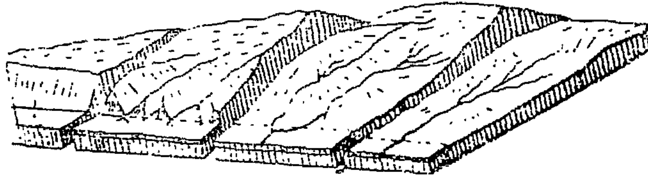
توزيع مراكز العمران وغير ذلك من مظاهر النشاط البشري، وفيما يلي شرح موجز لأهميتها في بعض النواحي الجغرافية المذكورة.

١ ـ أثر الانكسارات في تشكيل سطح الأرض:

تعد الانكسارات في حد ذاتها مظاهر فيزيوغرافية مهمة، وهي تأخذ كما سبق أن بينا أشكالاً متباينة، وبالإضافة إلى ذلك فأنها هي المسئولة عن تكوين بعض المظاهر التضاريسية الكبرى المعروفة ومن أهمها:

أ ـ الحافات الانكسارية:

تؤدي الحركة الرأسية للصخور على طول خط الانكسار إلى تكوين حافة انكسارية Fault Scarp، وهي عبارة عن حافة الحائط المعلق. وتتعرض هذه الحافة للتعرية مما يؤدي إلى تراجعها. ويتوقف هذا التراجع على مدى مقاومة الصخور المكونة للطبقات، وتعرف الحافة في هذه الحالة بحافة خط الانكسار (أنظر شكل ١٧ ـ ٥) Fault- line Scarp، وغالباً ما يحدث أن تستمر التعرية حتى تزيل الطبقات من أعلى الجانب المرتفع لخط الانكسار، ثم تتعرض الطبقة الأقل مقاومة التي تليها بحيث تصبح الطبقة في الجانب المنخفض هي الأقوى مقاومة



(شكل رقم: ١٧ ـ ٥) تراجع الحافات الانكسارية (عن بنك)

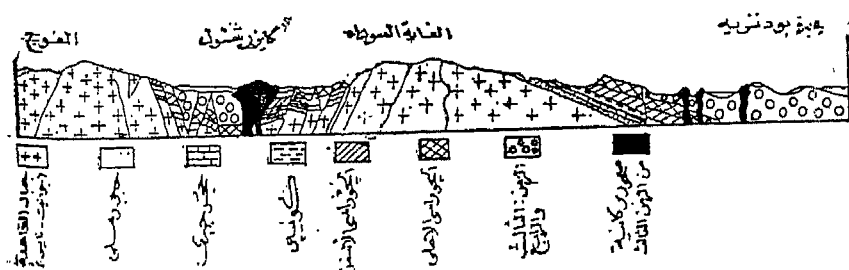
للتعرية، فتظهر عالية بعد إتمام نحت الطبقات من الجانب العالي للانكسار الذي يتحول إلى جانب منخفض. فتصبح حافة خط الانكسار على طول الخط السابق ولكن في وضع مضاد. وتعرف هذه الظاهرة بحافة خط الانكسار التالية Obsequent Fault Line Scarp. وإذا حدث واستمرت التعرية في نحت الحافة الجديدة فتعود وتصبح الحافة في الجانب الآخر وتعرف باسم Resquent Fault- line Scarp. وإذا لم تكن الحافة الانكسارية قد تآكلت تماماً وفقدت كل معالمها فمن الممكن الاستدلال عليها بعدة مظاهر منها أن يكون سطحها (وهو نفسه سطح الانكسار) مصقولاً نتيجة لاحتكاك جانبي الانكسار ببعضهما عند انزلاقهما وكثيراً ما توجد على نفس السطح خدوش طويلة ممتدة في نفس اتجاه حركة الانزلاق، وهي تحدث نتيجة لوجود قطع صخرية شديدة الصلابة بين الجانبين

المنزلقين وتحركها وهي مضغوطة بينهما على طول سطح الانكسار أثناء حركة الانزلاق. ومن الممكن الاستدلال على هذه الحافات أيضاً بوجود رواسب معينة عند قاعدتها وأهمها ما يعرف، **بالدقيق الصخري Rock Flour وبريشيا الانكسارات Fault Breccia**. ويتكون الدقيق الصخري من رواسب ناعمة تتكون نتيجة لطحن بعض الصخور على سطح الانكسار عند حدوث الانزلاق، أما البريشيا فعبارة عن قطع صخرية ذات زوايا محددة وتتكون نتيجة لتحطم الصخور المجاورة لسطح الانكسار. وإذا وجدت الحافة الانكسارية في طريق أحد الأنهار فأنها تؤدي إلى تكوين مسقط مائي Waterfall إذا كان النهر قادماً من الجانب المرتفع للانكسار بحيرة إذا كان قادماً من جانبه المنخفض.

٢ ـ الكتل الهضبية الانكسارية:

يؤدي تعدد الإنكسارات إلى تمزيق الطبقات السطحية إلى كتل مرتفعة وأخرى منخفضة، وهو ما يعرف بالكتل الانكسارية Block- Fanlting. وعندما تكون الكتل الانكسارية محدودة الجوانب تماماً وبارزة نشأت نتيجة ارتفاع الأرض بين انكسارين متقابلين يطلق عليها اسم الهضبة الإنكسارية أو Honst. وتصبح الكتلة بارزة إما نتيجة هبوط أجزاء القشرة المحيطة بخطوط الانكسار وبروز الكتلة الداخلية، أو نتيجة ارتفاع الكتلة الداخلية حتى تصبح بارزة عن بقية الطبقات المحيطة. ومثال ذلك الكتل الهضبية الهيرسينية مثل هورست الفوج والغابة السوداء وهضبة بوهيميا في وسط أوروبا (شكل رقم: ١٨ ـ ٥). كما تمثل شبه جزيرة سيناء كتلة هضبية انكسارية من هذا النوع ما بين خليج السويس وخليج العقبة، وكذلك شبه جزيرة كوريا بين البحر الأصفر وبحر اليابان. وفي حالة ارتفاع طرف من جانب كتلة الهورست عن بقية مستوى السطح، تعرف الكتلة بالكتلة المائلة Titl - Block كما في جبال سييرنيفادا يبلغ طولها ٤٠٠ ميل وعرضها ٨٠ ميل، وقد ارتفعت وانثنت من جانبها الشرقي حتى ارتفاع ٢٧٠٠ م تقريباً على طول خط الانكسار بانحدار ما بين ٢ إلى ٣ تجاه

وادي كاليفورنيـا. وحافة خط الانكسار ليست من فعـل انكسار واحد. ولكن من عدد من الانكسارات الصغيرة التي بدأت منذ الأيوسين وتكررت واستمرت علـى فترات مختلفة حتى البليستوسين. ولا زالت عمليـة الانكسار مستمرة بدليل انتشار الزلازل البسيطة. ويطلق على ظاهرة التواء الحافات اسم بنية الأحـواض والسلاسل Basin and Ranges Structure وهي تتمثـل في نهاية الكتـل الهضبية الانكسارية الكبرى كما في جبال سفن التي تمثل الحافة الجنوبية الشرقية لهضبة فرنسا الوسطى، وفي جبال سيرامورينا وهي عبارة عن حافة ملتوية من جنوب شرق هضبة الميزيتا، وكذلك في جبال ارتسبرج وريزنبرج وهي عبارة عن أحواض ملتوية من شمال كتلة بوهيميا، ونفس الشيء بالنسبة لكل من الغات الشرقية والغات الغربية وهما عبارة عن أحواض ملتوية لهضبة الدكن.



(شكل رقم: ١٨ ـ ٥) قطاع جيولوجي في أخدود الراين

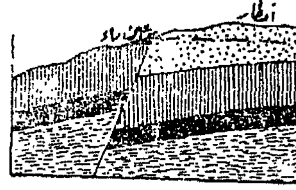
٣ ـ الوديان الانكسارية والوديان الأخدودية:

تنشأ الوديان الانكسارية عند أقدام الكتل الانكسارية وبمعنى آخر أنها تنشأ نتيجة انكسار من جانب واحد، مثل الوادي الكبير الذي يقع أدنى حافة

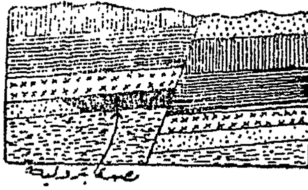
سيراMورينا الانكسارية من شبه جزيرة ايبيريا، أما الوديان الأخدودية فهي عبارة من الأحواض الناتجة عن هبوط بين انكسارين متوازيين، وتعرف باسم Graben، وهي النقيض للهورست أو لهضبة الانكسارية، أي أن الحركات التي تسببها تكون معاكسة للحركات التي تسبب الهورست. وقد يحدث أن تنشأ مجموعة من الانكسارات على كل جانب للحوض ويتكون بالتالي انكسار سلمي Step - Faulting، وفي هذه الحالة يشترط ألا تكون حركة الهبوط عنيفة، حتى تسمح بتكون السلم. أما الوديان الأخدودية فهي من الملامح البارزة في تشكيل سطح الأرض، خاصة إذا لم تؤثر التعرية في تغيير خطوطها الرئيسية. فتظهر الحوائط القائمة، كما في الأخدود الأفريقي العظيم وامتداده في الجزء المطل على البحر الميت. ويعرف هذا النمط بالوادي الأخدودي المتوازي ويشبهه في ذلك أخدود الراين الأوسط الذي يتكون ـ كما ذكرنا سابقاً ـ من هورست الفوج غرباً وهورست الغابة السوداء شرقاً. وقد ينشأ الوادي الأخدود كمنخفض مثلث الشكل بين كتل قارية ويمثله الكتلة الهابطة في البحر العربي بين افريقيا وجنوب شبه الجزيرة العربية.

ب ـ علاقة الانكسارات بالمياه الجوفية ومصائد البترول:

إذا حدث الانكسار في منطقة بها طبقة مياه جوفية أو طبقة بترولية فإنه قد يؤدي إلى انبثاق الماء أو البترول عن طريق الصدع ووصوله إلى السطح. ويتوقف الارتفاع الذي تصل إليه المياه أو البترول على قوة الضغط الذي يقع على الطبقة الحاوية لها وعلى منسوب المصدر الذي تتغذى منه هذه الطبقة، ولذلك فقد تندفع المياه أو البترول بعد وصولها إلى السطح بشكل نافورة، أو تنساب بهدوء، وقد لا تصل إلى السطح إما بسبب عدم وجود طريق لها إلى سطح الانكسار أو لعدم وقوعها تحت أي ضغط.



(شكل رقم: ١٩ـ٥) عين ماء انكسارية



(شكل رقم: ٢٠ـ٥) مصيدة بترولية انكسارية

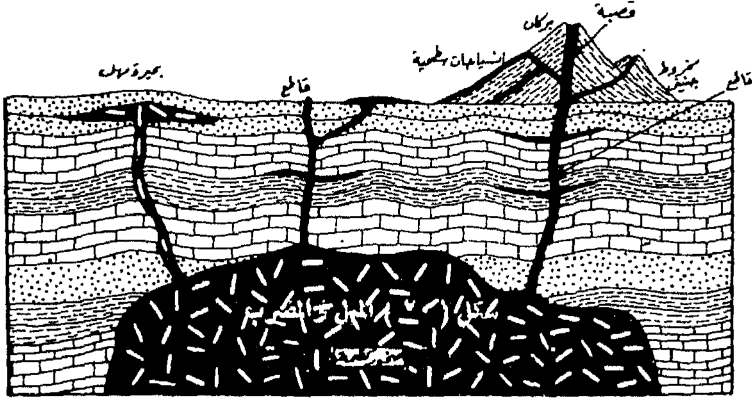
وقد يؤدي تغير منسوب الطبقات على جانبي الانكسار إلى حلول طبقات صماء محل الطبقة البترولية أو المائية على أحد جانبي الصدع فتنسد هذه الطبقة ويتجمع الماء أو البترول بشكل خزان. وهذه في الواقع هي إحدى الطرق المعروفة لتكون المصائد البترولية.

ثانياً: الحركات الفجائية

سبق الكلام عن حالة عدم الاستقرار الموجودة في باطن الأرض والتي تكون في الغالب نتيجة لتغير حالة التوازن الموجودة في القشرة الأرضية من وقت لآخر والتي تتسبب دائماً في حدوث حركات فجائية سريعة في كل أنواع الظاهرات البركانية كل تغير سريع ينتاب القشرة الأرضية بتأثير العوامل الباطنية، مثل البراكين ولواقطها والزلازل وما يصحبها من اضطرابات وهي من الكثرة بحيث نسمع عنها ونقرأ عن آثارها على سطح الأرض في كل حين.

البراكين Volcanoes:

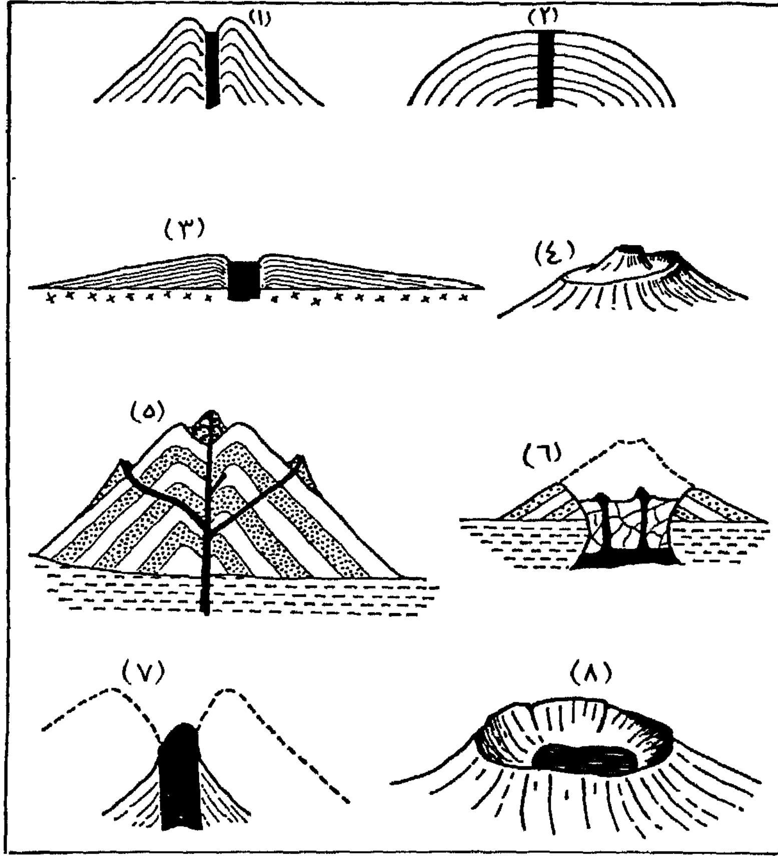
البراكين عبارة عن فتحات أو مخارج في القشرة الأرضية تمر خلالها المواد المنصهرة والغازات المحبوسة من جوف الأرض إلى سطحها. ويكون صعود هذه المواد مصحوباً بانفجار شديد يكون سببه الغازات المحبوسة في باطن الأرض فتندفع عندما يخف الضغط عليها وتحطم كل ما في طريقها وتقذفها إلى مسافات بعيدة، ويتكون البركان من ثلاثة أجزاء رئيسية (شكل رقم: ٢١ ـ ٥) هي:



(شكل رقم: ٢١ ـ ٥) أقسام وتركيب البركان

الفوهة Crater وهي الفتحة العليا التي تنبعث منها الحمم والغازات، والقصبة أو العنق Neck وهي تجويف اسطواني يخترق القشرة الأرضية ويصل جوف الأرض بالسطح وينتهي عند الفوهة ومنه تمر يخترق القشرة الأرضية ويصل جوف الأرض بالسطح وينتهي عن الفوهة ومنه تمر المواد المنصهرة أثناء صعودها إلى سطح الأرض. والجزء الثالث من البركان هو المخروط Cone الذي يتكون منه جسم البركان ويتكون في الغالب من المواد المصهورة بعد تراكمها حول الفوهة. وكثيراً ما يشار إلى المخروط باسم «البركان» أو الجبل البركاني. وقد يكون المخروط بسيطاً، وهذا هو الغالب. ولكنه قد يحمل على جانبيه مخروطاً صغيراً أو أكثر. ويكون له في هذه الحالة أكثر من قصة واحدة، ويحدث هذا إذا انسدت القصبة الأصلية واستطاعت المواد المندفعة أن تفتح قصبات جانبية جديدة، حيث تتراكم المواد البركانية حول فوهات القصبات الجديدة وتتكون نتيجة لذلك مخروطات جانبية. ويطلق على المخروط في هذه الحالة اسم: المخروط المركب Composite Cone. (شكل رقم: ٢٢ ـ ٥).

وتتباين المخروطات البركانية فيما بينها تبايناً كبيراً في الحجم، فمنها ما لا يزيد ارتفاعه عن مائة متر، ومنها ما يصل ارتفاعه إلى أكثر من خمسة آلاف متر، ففي افريقيا يبلغ ارتفاع مخروط جبل كليمنجارو ٦٠١٠ أمتار، وجبل كينيا



(شكل رقم: ٢٢ ـ ٥) أشكال البراكين

١ ـ مخروط من الرماد البركاني.
٢ ـ قبة من اللافا الحمضية.
٣ ـ مخروط من اللافا القاعدية.
٤ ـ مخروط ثانوي داخل قمع بركاني قديم.
٥ ـ مخروط بركاني مركب.
٦ ـ كولدبرا.
٧ ـ عنق بركاني كشفته التعرية.
٨ ـ بحيرة في كالديرا.

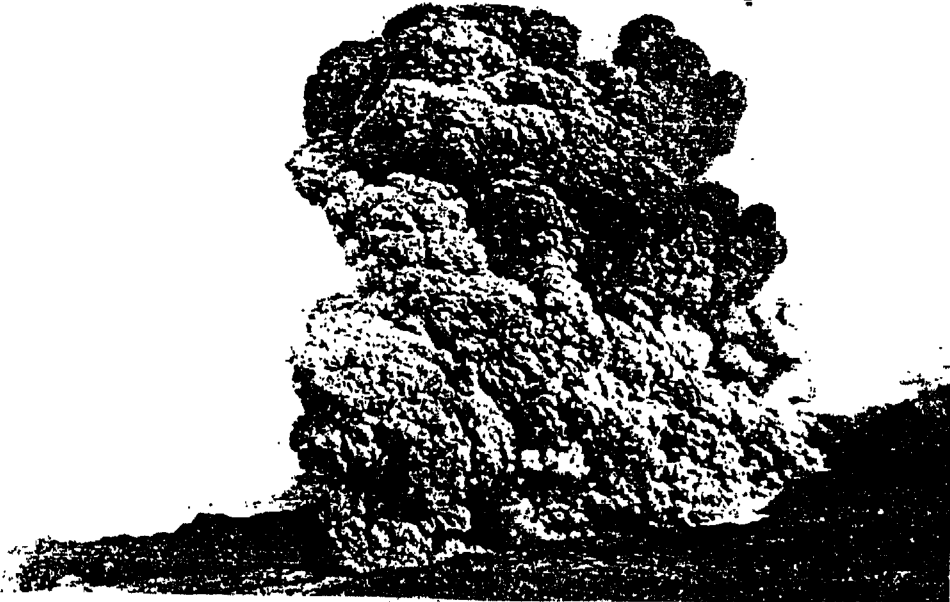








(شكل رقم: ٢٣ ـ ٥) الأمواد المصهورة والصلبة
التي تنبعث من فوهات البراكين وأثرها على سطح الأرض



(شكل رقم: ٢٤ ـ ٥) بركان كيلويا أثناء ثوراته في عام ١٩٢٤ (لاحظ ارتفاع سحابة الأبخرة والغازات التي تشبه في مظهرها ثمرة القنبط، والتي قد وصل ارتفاعها نحو ٢٠٠٠ متر).

٥٦٠٠ متر، وفي أوربا يبلغ ارتفاع مخروط بركان إتنا ٣٥٠٠ متر وبركان فيزوف ١٢٠٠ متر.

وفي أثناء الثوران البركاني Volcanic Eruption يقذف البركان بمواد مختلفة من فوهته تنحصر في ثلاث أنواع:

١ ـ أجسام صلبة كالمقذوفات الكبيرة التي تعرف باسم القنابل Bombs وتكون غالباً بيضاوية الشكل تبلغ في المتوسط حجم جوز الهند، أو قد تكون المقذوفات على هيئة حصى بركاني صغير لا يتجاوز قطره نصف سنتيمتر وقد يزيد في الحجم قليلاً حتى يصل إلى ٤ سم. وإلى جانب ذلك هناك مقذوفات دقيقة جداً في الحجم وهي الرماد البركاني أو التراب البركاني Volcanio Dust Ash الذي قد تحمله الرياح لمسافات بعيدة قبل إرسابه (شكل رقم: ٢٥ـ ٥).

٢ ـ المواد المصهورة أو السائلة وهي التي تعرف بالحمم أو اللافا Lava التي ترتفع في قصبة البركان بسرعة تقدر بنحو ٨ متر في الثانية ثم تخرج إلى السطح وتنتشر على جوانب البركان حيث تقل سرعتها تدريجياً حتى تقف نهائياً. وتختلف درجة سيولة اللافا باختلاف تركيبها الكيميائي، فاللافا القاعدية أكثر سيولة من اللافا الحامضية لأن اللافا الحامضية غنية بثاني أكسيد السليكون الذي يتصلب بسرعة عند ملامسته الهواء. وأهم مخلفات اللافا القاعدية هو صخر البازلت، ولهذا نجده من أكثر الصخور البركانية انتشاراً على سطح الأرض. وعند خروج اللافا من فوهة البركان تكون حرارتها ١٠٠٠ مئوية أو أكثر، وبانتشارها تبرد أجزاؤها الملامسة للهواء ولسطح المخروط البركاني في أسرع من أجزائها الداخلية، ونتيجة لذلك تكون أجزاء اللافا الخارجية دقيقة التبلور أو زجاجية، وبينما تكون الأجزاء الداخلية خشنة التبلور. وعند برودة اللافا تتمدد الغازات وتخرج تاركة بها فتحات Vesicles وقد تمتلىء هذه الفتحات بمعادن أخرى فتسمى اللافا الملوزة Amygdalliodal Lava. (شكل رقم: ٢٦ـ ٥).



(شكل رقم: ٢٥ ـ ٥) بعض أشكال المقذوفات البركانية الصلبة (القنابل البركانية)



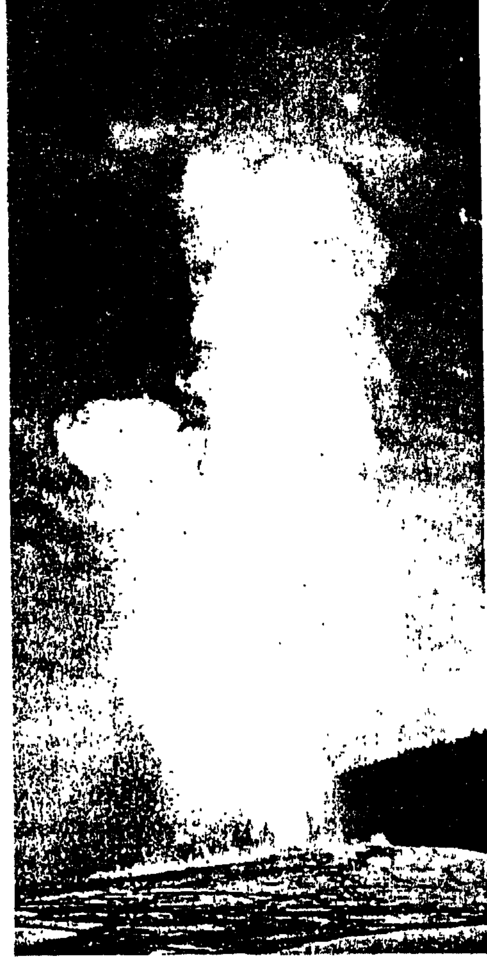
(شكل رقم: ٢٦ ـ ٥) صورة لمسقط من اللافا البازلتية
(لاحظ تصلب صهير البازلت وظهوره في شكل لافا مفتولة).

٣ ـ بالإضافة إلى ما يخرج من البراكين من مواد صلبة وسائلة، هناك الغازات، والأبخرة التي تنبعث منها في بدء ثورانها أو سكونها ومن أمثلة الغازات: بخار الماء وثاني أكسيد الكربون وأبخرة الأحماض المتفاعلة وتتراوح درجة حرارة هذه الغازات والأبخرة بين ١٠٠ ـ ٥٠٠ درجة مئوية، وقد يكون لها تأثير مهلك على المنشآت المدنية عندما تهبط عليها في شكل سحب أو ضباب.

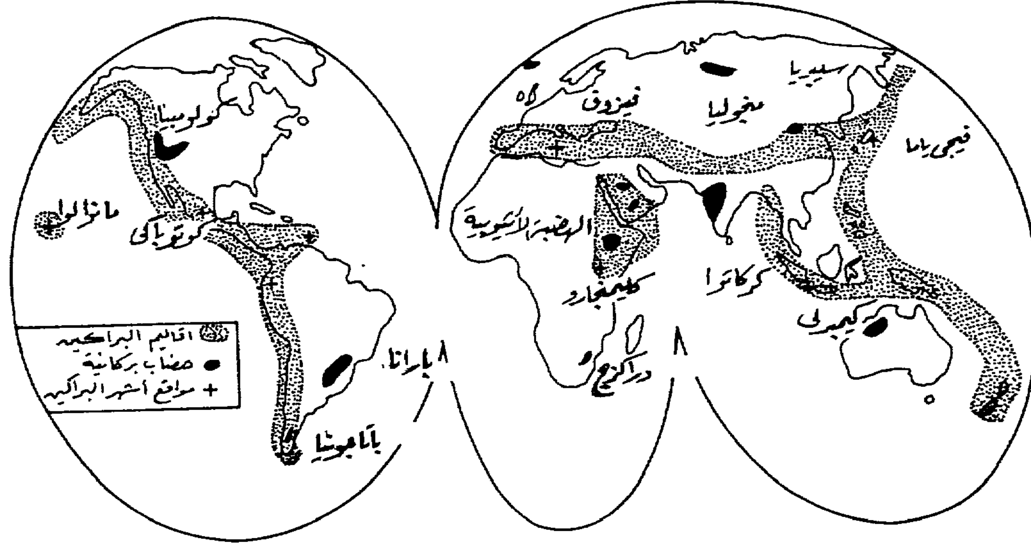
وهناك ظواهر قد يرجع أصلها إلى العوامل البركانية إذ توجد غالباً في مناطق بركانية هدأت وخمدت براكينها. ومن أمثلة هذه الظواهر البراكين الطينية Mud Volcanoes وهي عبارة عن رواسب طينية تنبعث من باطن الأرض في المناطق البترولية وتكون مصحوبة بغازات كربونية وهيدروكربونية. ومن هذه الظواهر أيضاً ما يعرف بالمداخن Fumeroles وهي شقوق أو فتحات في الصخور تخرج منها الغازات المختلفة في درجة حرارة عالية وتكون محملة بالمعادن كالحديد والنحاس والكبريت، ومنها ما يعرف بالبراكين الكبريتية. وهناك أيضاً الينابيع الحارة التي تكثر في المناطق البركانية حيث تختلط الغازات الساخنة وما يصحبها من مواد مع المياه الأرضية التي توجد في مستوى أعلى. وهناك كذلك الينابيع المتفجرة Geyers (شكل رقم: ٢٧ ـ ٥٥) وهي عبارة عن أعمدة من الماء الساخن تقذف من باطن الأرض في فترات منتظمة.

التوزيع الجغرافي للبراكين:

يبلغ عدد البراكين النشطة أو التي كانت كذلك في وقت من الأوقات حوالي ٥٠٠ بركان، هذا عدا الألف الأخرى من البراكين الخامدة Extinct وتقع كل هذه البراكين إما على حافات أحواض البحار والمحيطات العميقة أو بالقرب منها، وإما في مناطق الضعف في القشرة الأرضية مثل منطقة الأخدود الافريقي العظيم. ويمكن القول بصفة عامة أن التوزيع الجغرافي للبراكين ينحصر في منطقتين أساسيتين: منطقة جبال الالب والهيملايا، ومنطقة دائرة المحيط الهادي



(شكل رقم: ٢٧ ـ ٥) جيرز (أولد فيثفول) Old Faithful أثناء ثورانها. بيلوستون بارك.



(شكل رقم: ٢٨ ـ ٥) توزيع البراكين والهضاب البركانية في العالم

(منطقة الحلقة النارية Fire Ring) ويلاحظ أن هاتين المنطقتين هما اللتان تكونت بهما، سلاسل الجبال حديثاً. ومنطقة الألب ـ الهيملايا تشتمل على جميع البراكين الممتدة من فرنسا إلى إيطاليا حيث بركان فيزوف وسترمبولي واتنا ثم بعض البراكين التي تحت سطح الماء في بحر ايجه ثم البراكين في منطقة القوقاز وأرمينيا وإيران، ثم جبال الهيملايا، ومنها تتصل براكين منطقة المحيط الهادي عن طريق براكين جزر جاوة وسومطرة. وتمتد هذه المنطقة غرباً أي غرب أوروبا حيث توجد بعض البراكين في جزر المحيط الأطلسي، كما يمتد فرع منها في منطقة الأخدود العظيم بأفريقيا. أما منطقة دائرة المحيط الهادي فتشتمل على البراكين المختلفة الممتدة على الساحل الغربي للأمريكيتين وجزر المحيط الهادي، ويلاحظ أن هذه المناطق هي التي تكثر بها الزلازل ويرجع ذلك إلى حالة عدم التوازن التي توجد بين القارات وما عليها من مرتفعات، خصوصاً في مناطق سلاسل الجبال، وبين قيعان البحار والمحيطات. (شكل رقم: ٢٨ ـ ٥).

وفيما يلي أمثلة لبعض البراكين الهامة التي ثارت في العصور التاريخية:

البراكين	العام	الأثر في تشكيل المكان
فيزوف	٧٩ م	تدمير منطقة بمبي وستاباي في إيطاليا، ووصل غباره حتى نابلي.
فيزوف	١٩٤٤	تدمير منطقة سان سبستيانو
مونتانوفا	١٩٣٨،٣٧	قيام مخروط بركاني لأول مرة في منطقة فلجيري قرب بوزولي في إيطاليا وبالقرب منه ظهرت فوهة تشغلها حالياً بحيرة أفيرنو Averno.
إتنا	١٥٣٦	وصل غباره إلى ١٠٠٠ كم، جزيرة كريت.

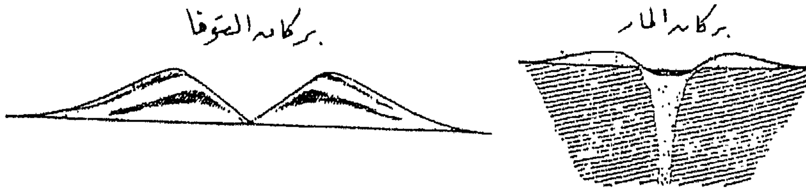
البراكين	العام	الأثر في تشكيل المكان
إتنا	١٩٢٨	تدمير جميع المنشآت التي على جانب الجبل وعند قدمه.
براكين لاكي (أيسلنده)	١٨٨٣	نشأ عنها التصدعات في منطقة البراكين.
كراكاتوا	١٨٨٣	نشأ عن ثوراته غبار غطى ٨٠٠ كلم^{2} كما أن الجزيرة التي يقع البركان عليها صغر حجمها نتيجة التدمير من ٣٥،٥كم^{2} إلى ١٠,٧ كم^{2}.
بانديسان (اليابان)	١٨٨٨	غازات هائلة.
مونت بيلي	١٩٠٢	رفع غطاء الفوهة الصخري إلى أعلى من البداية ثم عاد هذا الغطاء وهبط بعد عدة أسابيع.
أمارتينيك		خروج غازات سامة أدت إلى فناء سكان مدينة سان بيير.
باراكوتين (المكسيك)	١٩٤٣	قيام بركان جديد لأول مرة ارتفاعه ٨٠٠ متر.

ويختلف أثر البراكين في تشكيل سطح الأرض حسب حجمها ومادة تكوينها ويمكن تقسيم البراكين إلى الأنماط الرئيسية التالية:

١ ـ نمط براكين المار Maar:

وهو أبسط أنواع البراكين حيث يتكون من فتحة في القشرة الأرضية حدثت بفعل انفجار الغازات. وغالباً ما تختفي مادة اللافا من هذا النمط. وتظهر الفتحة

على شكل ثقب في القشرة غير البركانية بينما تمتلىء القصبة بالمواد البركانية المعروفة باسم التوفا Tuffa وهي قريبة إلى الغبار البركاني. وإذا صادف واندفعت اللافا في مثل تلك البراكين فإنها لا تصل إلى السطح، كما أن المواد البركانية المتجمعة عنها Volcanic Accumalsion بسيطة جداً. وتمثل منطقة براكين ايفل Eifel في غرب ألمانيا المناطق التي تسود فيها ظاهرة براكين الماء، كما تظهر في منطقة الأوفرن في فرنسا وفي هضبة الحبشة وشرق الهند واليابان والمكسيك، وتظهر فوهات تلك البراكين ممتلئة بالماء مكونة بحيرات مستديرة وصغيرة.



(شكل رقم: ٢٩ ـ ٥) قطاع في بركان المار وقطاع في بركان التوفا

٢ ـ نمط براكين هاواي Hawauan Type :

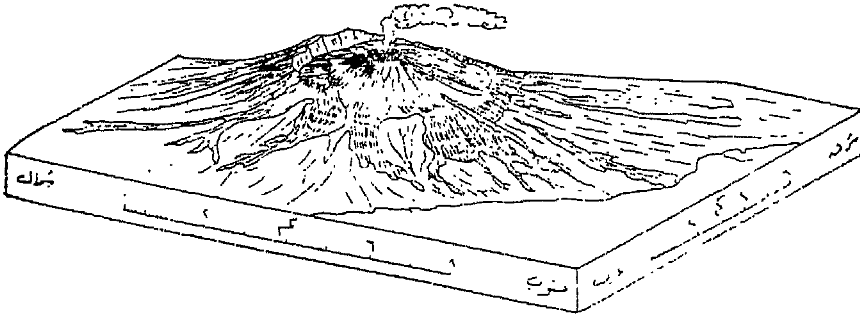
وينشأ عن هذا النمط من البراكين التي تتميز بثوران هادىء مما يسمح بخروج مواد بركانية من اللافا القاعدية التي تنتشر على مساحة شاسعة. كما أن المخروط تكون جوانبه قليلة الوعورة ويتكون من لافا قاعدية تخرج من عدد كبير من الفوهات التي توصلها قصبات تعرفة الصهير. ويمثل هذا النمط خير تمثيل بركان مونالوا بالجزيرة الرئيسة من مجموعة جزر هاواي. وفي جزر ساندوتش فإن اللافا المنبعثة من هذا النمط من البراكين نظراً لشدة ميوعتها، تسيل أثناء الثوران كالماء الدافق مؤلفة شلالات حقيقية حينما تنسكب من مكان مرتفع.

٣ ـ نمط البراكين الطباقية Strato Type:

وينشأ هذا النمط عن تعاقب المواد المفككة الهشة مع اللافا. وفي البراكين الصغيرة من هذا النمط تنساب اللافا من على حافة الفوهة، ويمكنها أن تغطي مخروط التوفا الذي نشأ من قبل، وعند تجمع مادة الصهير تظهر طبقة من اللافا مطابقة لانحدار التوفا. أما في البراكين الكبيرة من هذا النمط فإن اللافا تندفع وتتوغل من القصبة نحو الجوانب حتى تخرج فينشأ بذلك قصبات فرعية. تكون عند تجمعها عروق صلبة في جسم البركان، وتأخذ البراكين الكبيرة من هذا النمط شكل مخروط في الغالب، وقد تحوي مخاريط جانبية صغيرة قرب الفوهة تخرج منها اللافا في حالة الثورانات البسيطة. وأمثلة هذا النمط مجموعة براكين دي بوي De Puy في هضبة فرنسا الوسطى. والملاحظ في البراكين الطباقية العالية تصلد الفوهة الرئيسية، إذ تتبع اللافا والغازات في خروجها الأجزاء الضعيفة من الجوانب، وتنشىء عليها جبالاً بركانية صغيرة تعرف بالفوهات المتطفلة Adventive Crater، وأشهر أمثلتها بركان إتنا الذي يبلغ ارتفاعه ٣٧٣٠ متر، وهو أكثر براكين أوروبا نشاطاً في إلقاء الحمم البركانية بغزارة ومن أشهر فترات نشاطه عام ١٩٤٣ وعام ١٩٨٣ ويقدر بأن مركز توهج هذا البركان يقع على عمق أكثر من ٦٠٠٠ متر أدنى قاعدته، ونظراً لأن اللافا لم تعد غنية بالغازات، فإنها لم تعد تخرج باندفاع شديد مما يجعلها تتبع قصبات الفوهات المتطفلة. وكذلك بركان جالينجيونج في جزيرة جاوة، وبه أكثر من ١٠٠٠ مخروط متطفل. وتنتشر البراكين الطباقية عموماً في الأنديز والمكسيك وفي جزر الأزورس وكناريا وجزر ألوشيا واليابان.

٥ ـ نمط البراكين المركبة (الكالديرا)

وهي أكثر تعقيداً من البراكين السابقة، إذ تنشأ ثورانات متعاقبة، تقل كثافة الثوران تدريجياً في كل مرة عن السابقة مع غنى من الغازات واللافا. ويمثل هذا



(شكل رقم: ٣٠ ـ ٥) بركان فيزوف

النمط بركان فيزوف (شكل رقم: ٣٠ ـ ٥) وهو ثائر حالياً وارتفاعه ١٢٢٣ متراً وتحاط فوهته بحائط ينفتح من الجنوب الغربي ويصل البركان أعلاه في الشمال الشرقي حيث يقع بالقرب من جبل مونت سوما Mont Somma (١١٣٢ متر). وما بين مونت سوما وفيزوف يقع وادي ضيق هو وادي Atrio de Cavilla، يصل قطر الحائط الدائري له ٤ كيلومتر وهو عبارة عن بقايا فوهة مستديرة قديمة ترجع إلى انفجارات عنيفة في البركان. وقد تغير موضع الفوهة أثناء ثوران عام ٧٦ م، كما تحطم جزء من الحائط، كما غطى جزء منه بعد ذلك باللافا حتى ظهر المخروط البركاني بوضعه الحالي في كل مرة عن السابقة مع غنى في الغازات واللافا.

ويطلق على هذا النمط اسم كالديرا Caldera في أسبانيا، وهو يشبه النمط المركب وإن كان الحائط الدائري الذي حول الفوهة لم يكتمل، ويصل قطره من ١٥ إلى ٢٠ كم في بركان Bico de Teyde من مجموعة جزر كناريا في جزيرة تنريفا Tennriffs، كما يتمثل هذا النمط في تنجانيقا في بركان نجورو نجورو الذي يصل قطر فوهته ٢٢ كم، وكذلك بركان سانتورين بين جزيرتي تيراتريزيا واسبرونيزي في بحر إيجه، كما ينتمي إلى النمط المركب بركان استرمبولي في

شمال جزيرة ليباري في البحر الثيراني، وبركان كالديرا، الذي ترجع إليه تسمية هذا النمط في جزيرة لا بالما في جزر كناريا.

٦ ـ براكين التكدس Cumulo Volcanogs:

وهي براكين بلا قصبات أو مداخن، وتتألف من أكوام هائلة من الطفوح المتصلبة التي تكدست بعضها فوق بعض على شكل قبة ضخمة، كما هي الحال في بركان برج الشيطان Devel's Towes في ولاية كلورادو الأمريكية وفي براكين جبل الدروز بسورية.

أثر البراكين في تشكيل سطح الأرض:

تعد البراكين هي أكثر العمليات التكتونية سرعة في تشكيل سطح الأرض على نطاق واسع، فلم يستغرق انفجار بركان مونتانوفا، الذي ثار عام ١٥٣٨ سوى عشرة ساعات. وصار بعدها إلى ارتفاع ١٤٠ متر، وأخذ شكل مخروط من الرماد. وقد انتهى الانفجار بعد ذلك ثم تبعه خروج اللافا من فوهته الصغيرة وتكدست حولها، دون أن تنساب على الجواب، ومثال آخر هو بركان باريكونية الذي يقع على بعد ٣٥٠ كم من مدينة المكسيك. وقد ظهر إلى الوجود لأول مرة عام ١٩٤٣ فجأة في حقل زراعي، وقد بدأ بانكسار طوله ٢٥ كم بعد أن استمرت القشرة في حالة من الاضطراب لمدة ١٤ يوماً. وفي اليوم الخامس عشر بدأ الانفجار ووصل البركان إلى ارتفاع ٥٥ متراً في نفس اليوم. وبعد أسبوع وصل ارتفاع المخروط ١٥٠ متراً، وبعد ثلاثة أيام بدأت اللافا في الانسياب، وقد غطت المناطق المحيطة حتى سمك ٢٠٠ متر.

أما الزلازل البركانية فتأثيرها على تشكيل سطح الأرض محدود، فهي تسبب انزلاق المواد المفككة من جوانب البركان أو المنحدرات القديمة منه. والملاحظ أن البراكين التي تنشأ قرب السواحل تؤدي إلى تقوية عمل التعرية

الساحلية في السواحل القريبة من البراكين، وأما ما يخرج من البراكين من غازات وأبخرة فإن أثره في التشكيل السطحي محدود كذلك. أما الصخور الناتجة من الطفح البركاني فهي تتمتع بمقاومة كبيرة للتعرية في معظمها. فلا يزال ما نشأ منها منذ الزمن الثالث القديم وما بعده، يغطي مساحات واسعة من السطح حتى الأن، كما أن التشكيل الإيجابي لها يتمثل في المخاريط البركانية التي لا تزال بقايا قائمة تمثل عنصراً في تشكيل السطح وفي درجة تضرس القشرة، خاصة وأنها تتشكل من مواد قد تصل إلى ۱۰۰۰ متر أو أكثر في الارتفاع، فيرتفع مثلاً جبل Pico de Tyde إلى ۲۷۱۱ متر فوق سطح البحر، وبركان كونايا في إكوادارا على البراكين الثائرة يصل إلى ٥٩٤٣ متر، ويصل الجزء الباطن منه ۲۰۰۰ متر، وبركان إتنا ويصل ارتفاعه إلى ۳۷۳۰ متراً (شكل رقم: ۳۱ ـ ٥). وبركان فوجي ياما الياباني الذي يزيد ارتفاعه على ۳۷۰۰ متر. وقد يزيد الارتفاع عن ذلك بكثير إذا وجدت المخروطات البركانية فوق هضاب قائمة من قبل. فبعض قمم سلسلة سيرا فولكانيكا ترانسفرسال تزيد على خمسة أو حتى ستة الآف متر، ولكن ارتفاع الهضبة تحتها يزيد على ۲٥۰۰ متر.

كذلك تساعد الطفوح البركانية على تكون هضاب بركانية كما هي الحال في هضبة فرنسا الوسطى وهضبة أثيوبيا وهضبة كولمبيا وهضبة جنوب البرازيل وهضبة الدكن، وقد تشغل البحيرات المستديرة فوهات البراكين الخامدة، كالحال في بحيرة كريتر Crater Lake في ولاية أوريجون الأمريكية. أما إذا كان مبعث النشاط البركاني هو قاع المحيط، فإن المخروطات الناجمة عن ذلك قد ترتفع حتى تبدو قممها فوق سطح الماء على شكل جزر، كما هي الحال في مجموعات جزر الأزور والرأس الأخضر بالمحيط الأطلسي الشرقي.



(شكل رقم: ٣١ ـ ٥) فوهة بركان إتنا ويظهر خلفها سهل كاتانيا

الزلازل Earthquakes:

الزلازل هي هزات سريعة متلاحقة تنتاب القشرة الأرضية في فترات متقطعة، وقد تكون هذه الهزات شديدة بحيث تحدث أضراراً كبيرة، وقد تكون ضعيفة بحيث لا يشعر بها الإنسان وإنما تسجلها آلات الرصد الدقيقة. والزلازل من حيث تأثيرها قليلة الأهمية إذ أن أثرها على القشرة الأرضية لا يتعدى حدوث بعض الانكسارات أو الانهيارات الصخرية أو نضوب المياه الجوفية ولكن أثرها بالنسبة للإنسان مهلك ومدمر لما ينتج عنها من الدمار والهدم (شكل رقم: ٣٢ ـ ٥، ٣٣ ـ ٥).



(شكل رقم: ٣٢ـ٥) صورة آثار موجة المد العظمى التي سببها أحد الزلازل في منطقة ساحلية



(شكل رقم: ٣٣ـ٥) صورة بعض المباني المتهدمة بفعل أحد الزلازل

وقد تكون الاهتزازات التي تحدثها الزلازل في القشرة الأرضية إما رأسية من أسفل إلى أعلى، ويكون نتيجتها قذف الصخور والمنازل في الهواء، أو أفقية وهي النوع السائد في هزات الزلازل وينتج عنه هدم كل كائن على سطح الأرض من مباني ومنائر ومداخن التي يكون سقوطها في اتجاه سير الزلازل، وقد تكون الهزات دائرية وهذا نوع نادر الحدوث. ويصحب الزلازل عادة صوت كقصف الرعد مع توالي الهزات الواحدة تلو الأخرى والتي تتناقص في قوتها قبل أن يعود سطح الأرض إلى حالته الطبيعية. فقد حدث في مقاطعة كالابيريا Calabria بجنوب ايطاليا عام ١٩٠٥ زلزال، ثم تعاقبت الهزات الأرضية فبلغت مائة هزة في حوالي أربعة شهور عاد بعدها الهدوء والسكون إلى القشرة الأرضية في المنطقة. وكذلك ما يحدث في منطقة أسوان بجنوب مصر من هزات بلغت أكثر من ٢٠ هزة في أسبوع واحد من أقواها ما حدث في ١٤ نوفمبر ١٩٨١ والمعروف بزلزال بحيرة ناصر والذي وقع على فالق ٦٠ كيلومتراً جنوب غرب أسوان. وليس من الضروري أن يشعر الإنسان بكل هذه الهزات دائماً يشعر ببعضها ثم تضعف قوتها فلا تحس بها سوى آلات الرصد والتسجيل الخاصة بالزلازل. وكذلك الزلزال أو الهزة الأرضية القوية (٥,٩ ريختر) التي أثرت على القاهرة وضواحيها في ١٢ أكتوبر ١٩٩٢ وشعر بها الناس في جميع أنحاء مصر نتيجة حركة لكتلة من كتل القشرة الأرضية على فالق يمثل منطقة ضعف جنوب غرب القاهرة. وقد حدث زلزال مشابه له في نفس الموقع وبنفس القوة تقريباً منذ ١٤٥ عاماً (في ٨ أغسطس ١٨٤٧) تسبب أيضاً في هدم آلاف المنازل بالقاهرة والفيوم. وقد وصل عدد الهزات التابعة لزلزال ١٢ أكتوبر ١٩٩٢ إلى سبع هزات كان من نتيجتها وفاة ٥٥٢ شخصاً وإصابة ٩٩٢٩ شخصاً وتهدم وتصدع ٨٠٠ منزلاً في القاهرة فقط. ومن الزلازل التي وقعت في مصر أيضاً زلزال عام ١٩٢٧، تلاه زلزال شديد بالاسكندرية عام ١٩٥٥ (بقوة ٥,٩ ريختر)، ثم زلزال جزيرة شدوان في مدخل خليج العقبة والذي كان سببه الشق في منتصف البحر الأحمر الذي وقع في ٣٠ سبتمبر ١٩٦٩، ومع أنه كان زلزالاً

شديداً (١,٦ ريختر) إلا أن تأثيره لم يكن خطير لبعد بؤرته عن المدن المكتظة بالسكان.

وفي غضون الخمسة عشر عاماً المنصرمة سجلت هزات زلزالية مدمرة ومروعة على مستوى العالم يذكر منها الزلزال المدمر الذي دهم منطقة ايرضوم في شرق تركيا في ٢٩ سبتمبر ١٩٨٣ بقوة بلغت ٧,١ درجة بمقياس ريختر مما أسفر عن مصرع نحو ألفي قتيل بالإضافة إلى ٢٢ ألفاً من المصابين والمشردين، كما ألحق دماراً كاملاً بالعديد من قرى المنطقة البالغ عددها ٤٧ قرية. وقد شمل الزلزال المنطقة الممتدة من البحر الأسود شمالاً حتى الحدود السورية في الجنوب الشرقي. ويعد هذا الزلزال أعنف هزة أرضية حدثت في هذه المنطقة منذ نوفمبر ١٩٧٦ عندما قتل أكثر من ٣٨٠٠ شخص في زلزال عنيف أصاب المنطقة التي من مناطق الزلازل العنيفة في العالم.

وقد حدث عقب زلزال تركيا السابق بيوم واحد (٣٠ سبتمبر ١٩٨٣) أن وقع زلزال عنيف هز منطقة الحدود بين باكستان وأفغانستان في مرتفعات هندكوش، وبلغت شدته ٦،٥ درجة بمقياس ريختر.

وفي نفس العام (١٩٨٣) أخليت مدينة يوتسلي الإيطالية بعد زلزال عنيف ـ روع سكانها ـ بسبب سلسلة من الاهتزازات التي انتابت المدينة لمدة شهر متواصل، وهذه المدينة تعاني منذ إنشائها من الارتفاع المستمر في سطح الأرض، والذي بلغ معدله ٤ ملليمتر في اليوم، ومن الانفجارات البركانية المفاجئة والتي كان آخرها عام ١٩٧٠، ويعتقد بأن السبب في تلك الظاهرة هو وجود بركة من المواد الطبيعية المنهارة على بعد ٣٠٠٠ متر تحت سطح المدينة والتي وصلت إلى درجة الغليان.

وفي أسوأ كارثة من نوعها تعرض لها الاتحاد السوفيتي ـ السابق ـ خلال ٨٠ عاماً، دمر زلزال مروع مدينة سبيتاك بأكلمها وعدة قرى أخرى في جمهورية أرمينيا عام ١٩٨٤، وأسفر عن مصرع عشرات الآلاف، وتشريد نحو ١٥٠ ألفاً

آخرين، وبلغت قوة هذا الزلزال ٦,٩ درجة بمقياس ريختر.

وفي أكتوبر عام ١٩٨٩ ضرب مدينة سان فرانسيسكو الأمريكية زلزالاً شديداً بلغت قوته ٧ درجة بمقياس ريختر تبعه ٣٠ هزة أخرى بدرجات قوة مختلفة كان من نتيجتها انهيار جزء من الجسر الذي يربط بين مدينة سان فرانسيسكو ودولكنه، وراح ضحيته ٣٠٠ شخص، وقدرت خسائره بنحو ١٥٠ مليون دولار. وفي نفس الشهر أيضاً وقع زلزال في مدينة الجزائر ـ العاصمة ـ أدى إلى مصرع ٣٠ شخصاً وإصابة نحو ٣٠٠ شخص آخرون.

وفي أكتوبر عام ١٩٩٣ ضرب الهند أعنف زلزال منذ قرابة نصف قرن، بلغت قوته ٦،٤ درجة بمقياس ريختر، دمر أكثر من ٥٠ قرية بمناطق كيلاري وأومارجا في ولايات الغرب والجنوب، وأدى إلى مصرع أكثر من ٢٠ ألف شخص وإصابة عدد مماثل وتشريد الآف من سكان هذه القرى. وفي نفس فترة زلزال الهند ضرب زلزال قوته ٦،٧ درجة بمقياس ريختر المناطق الساحلية الجنوبية للمكسيك.

وفي شهر يناير عام ١٩٩٤ ضرب زلزال عنيف مدينة لوس انجلوس الأمريكية بلغت قوته ٦,٥ درجة بمقياس ريختر ـ وقد استمرت الهزة ٦٠ ثانية على الأقل ـ وتلتها أربع هزات تابعة قوية في غضون خمس دقائق من الهزة الرئيسية، ثم أعقب ذلك عشرين هزة أخرى أقل قوة، وقد تسبب الزلزال في انهيار عشرات المنازل في مدينة السينما «هوليوود» فضلاً عن اندلاع أكثر من ٥٠ حريقاً في أنحاء متفرقة في المدينة، ومصرع نحو ٢٥ شخصاً وإصابت العشرات من الأشخاص. كما انقطعت بسببه الكهرباء والاتصالات الهاتفية وخطوط المياه والغاز، ودمرت أجزاء من الطرق السريعة الرئيسية، ووقعت انهيارات أرضية في المناطق الجبلية المحيطة بالمدينة. وشعر السكان في مناطق تمتد من سان دييجو إلى لاس فيجاس ونيفادا بالهزة التي تسببت في حدوث خسائر ببعض المباني بهذه المدن.

وفي شهر يناير عام ١٩٩٥ أصاب اليابان زلزالاً مدمراً بلغت قوته ٧,٢

درجة بمقياس ريختر، وقد تسبب هذا الزلزال في مصرع نحو ٤ الآف شخص وإصابة نحو ٢٢ ألفاً من الأشخاص. كما اندلعت النيران بسبب الانفجارات الناتجة عن تسرب الغاز خاصة في مدينة كوبي.

وتحدث الزلازل نتيجة لأسباب مختلفة تتفاوت في أهميتها. فمن الأسباب التي تؤدي إلى حدوث الزلازل الانزلاقات الأرضية Landslides أو انهيار أسقف الكهوف في طبقات الصخور الجيرية، وهو من الأسباب القليلة الأهمية. ولكن يعزى حدوث الهزات الأرضية أساساً لأحد السببين: أولهما حدوث البراكين (وتعرف في هذه الحالة باسم الزلازل البركانية Volcanic Earthquakes) ولكن ليس معنى هذا بالطبع أن كل نشاط بركاني يصحبه اهتزازات أرضية. السبب الثاني هو الانكسارات التي تحدث في القشرة الأرضية في الجهات التي تتعرض للتقلصات والضغوط أي حيث تكون القشرة الأرضية منثنية أو مجعدة (كما هي الحال في مناطق السلاسل الجبلية) فالتواء الصخور حتى تصل إلى حد مرونتها Elastic Limit يؤدي إلى تكسرها وتبدأ الهزات الأرضية بمجرد حدوث الانكسار إذ تنطلق الطاقة على هيئة موجات يتكون منها الزلزال، ويطلق على هذا النوع من الزلازل اسم الزلازل التكتونية Tectonic Earthquakes. وهناك نوع من الزلازل يطلق عليه اسم الزلازل البلوطونية Plutonic Earthquakes، وهي أقل الزلازل دراسة وتحدث على عمق يتراوح بين ٢٥٠ إلى ٧٥٠ كيلومتر، ومعظم الزلازل التي سجلت من هذا النوع كان على عمق ٧٠٠ كيلومتر ولا يوجد تعليل مؤكد لحدوثها، ويحتمل أن تكون بسبب انفجارات كيمائية، أو نتيجة تبلور الصخور، بسبب تغير المعادن. وتصنف الزلازل حسب عمقها كما يلي:

١ ـ زلازل طبيعية: عندما يكون الزلزال على عمق ٥٠ كيلو متر أو أقل.

٢ ـ زلازل متوسطة، عندما يكون مركز الزلزال على عمق ما بين ٧٠ إلى ٢٥٠ كيلو متر.

٣ ـ زلازل عميقة، ويقع مركزها على عمق ما بين ٢٥٠ إلى ٧٠٠ كيلو متر.

وتختلف الزلازل في تأثيرها وفي شدتها من هزات خفيفة جداً غير محسوسة أو ملموسة إلى هزات عنيفة. وقد اتفق على مقياس اختياري لذلك يتألف من اثنتي عشرة درجة يعرف بمقياس ريختر لشدة الزلزال، درجات زلازل الدرجة الأولى مثلاً لا يشعر الإنسان بها ولا تتأثر بها الموجودات على سطح الأرض، وزلازل الدرجات التالية تبدأ بتأثر الإنسان بها ثم المباني بالتدريج حتى تصل إلى الدرجة الثامنة فتبدأ المباني في التصدع والتشقق وتسقط المداخن والمآذن وتكون الدرجة الثانية عشرة هي أقصى الدرجات في شدة الزلزال حيث يعم الدمار. وأعطي لكل درجة منها رقم خاص وميزت ببعض العلامات التي يمكن أن يستدل بها عليها وهذه الدرجات هي:

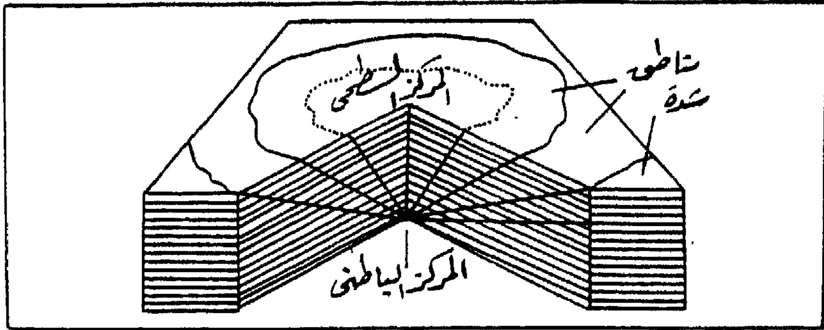
درجة الزلزال ونوعه	بعض العلامات الدالة عليه
١ ـ زلزال جهازي Instrumental	لا تدل عليه إلا أجهزة السيسموجراف
٢ ـ ضعيف جداً Very Feeble	لا يشعر به إلا الأشخاص ذوي الحساسية المرهفة.
٣ ـ ضعيف Slight	يشعر به الناس أثناء الراحة.
٤ ـ متوسط Moderate	يشعر به الناس أثناء الحركة والعمل وتهتز بسببه النوافذ والأبواب
٥ ـ شديد Rather Strong	يستيقظ الناس وتهتز الأشياء المعلقة وتدق أجراس الكنائس.
٦ ـ عنيف Strong	يحدث بعض التخريب وتسقط الزجاجات الموضوعة على الرفوف، وقد يحدث فزع بين الناس.
٧ ـ عنيف جداً Very Strong	تتشقق بعض الجدران، ويحدث فزع شامل بين الناس.
٨ ـ مخرب Distructive	تسقط المداخن والمآذن ويحدث بعض التخريب في بعض المباني
٩ ـ مدمر Ruinous	تتداعى بعض المباني ويسقط قليل من الضحايا.

درجة الزلزال ونوعه	بعض العلامات الدالة عليه
١٠ ـ مروع Disastrous	تنهار كثير من المباني، وتحدث بعض الانهيارات الأرضية، ويسقط عدد غير قليل من الضحايا.
١١ ـ مروع جداً V Disastrous	تنهار أغلب المباني، وتحدث بعض التشققات في قشرة الأرض وتتحطم السدود وتنثني قضبان السكك الحديدية ويسقط مئات الضحايا.
١٢ ـ كارثة زلزالية Catastrophic	دمار شامل وتصدعات في قشرة الأرض وحرائق واسعة الانتشار وفيضانات وضحايا بالآلاف.

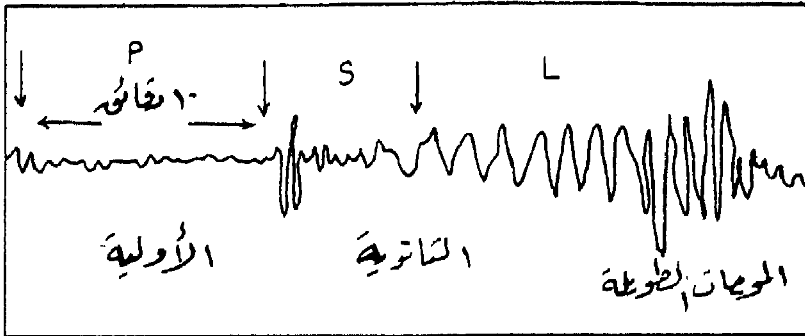
وتتراوح سرعة انتقال الهزات من حوالي ٥٠٠ متراً إلى ٦٠٠ متراً في الثانية، وإذا عرفت الأماكن التي تتساوى فيها شدة الزلازل على أساس المقياس السابق ووصلنا بينها بخط يعرف باسم خط شدة الزلزال المتساوي Isoeimal Line لأمكن رسم خريطة تبين المناطق التي يتساوى فيها تأثير أو شدة الزلزال. وقد لوحظ أن أثر أو شدة كل زلزال يظهر في موقع معين على سطح الأرض يعرف بالمركز السطحي للزلزال Epicentre وهذا الموقع يقابل تماماً مركز الزلزال في جوف الأرض. (شكل رقم: ٣٤ـ ٥)، ويبلغ متوسط عمق المركز عن سطح الأرض في الهزات العادية ٣٢ كيلو متر تقريباً (٢٠ ميلاً).

وعندما يحدث الزلزال تنطلق من مركزه طاقة تبعث بذبذبات قوية في الصخور تنتج عنها موجات مختلفة في عدة اتجاهات. وتسجل الموجات التي تصل إلى مراكز رصد الزلازل بواسطة جهاز رصد الزلازل Seismograph الذي يرسم خطاً متعرجاً نتيجة تأثره بالاهتزازات الأرضية تعرف باسم سجل الزلزال الذي يتكون من ثلاثة أقسام (شكل رقم: ٣٥ ـ ٥).

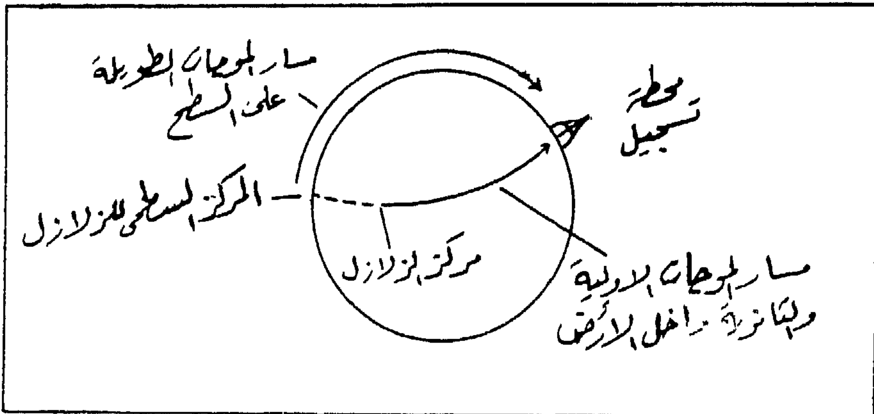
١ ـ القسم الأول: وهو عبارة عن الموجات الأولية Primary (P) وهي موجات طولية سريعة تصل إلى المرصد، وتتراوح سرعتها بين ٥،٥ إلى ١٣،٨ كيلو متر في الثانية.



(شكل رقم: ٣٤ ـ ٥) مناطق الشدة والمركز السطحي لأحد الزلازل



(شكل رقم: ٣٥ ـ ٥) أنواع الموجات الزلزالية



(شكل رقم: ٣٦ ـ ٥) مسار الموجات الزلزالية المختلفة على سطح الأرض وفي باطنها

٢ ـ القسم الثاني وهو يمثل الموجات الثانوية Secendary Waves (S) وهي موجات عرضية Transversal تنبعث من الصخور في اتجاه عمودي على اتجاه انتشار الموجات الأولية (P). والموجات الثانوية أبطأ من الموجات الأولية أو تتراوح سرعتها بين ٣،٢ إلى ٧،٣ كيلو متر في الثانية.

٣ ـ القسم الثالث وهو عبارة عن الموجات الطويلة (L) وهي موجات عرضية طويلة المدى تنتشر من المركز الصحي للزلزال، وهي أبطأ الأنواع الثلاثة إذ لا تتعدى سرعتها ٤،٤ كيلو متر في الثانية.

وتنتشر الموجات الأولية (P) والثانية (S) داخل القشرة الأرضية في مسار دائري تقريباً، أما الموجات الطويلة (L) فإنها تسير على سطح الأرض ولهذا تصل آخر الموجات ولكنها تتسبب في معظم الدمار والهدم.

ولا شك أن كثيراً من الكوارث الزلزالية التي حدثت في العصور التاريخية القديمة أو قبلها كانت أفظع بكثير من أي كارثة من الكوارث التي سجلت خلال العهود الحديثة. ولكننا لا نعرف أي شيء عنها، وحتى الكوارث التي سجلها التاريخ في عهوده القديمة والوسيطة لا يمكن أن تشمل كل الكوارث التي حدثت في تلك العهود حيث أن مناطق شاسعة من العالم كانت لا تزال مجهولة تماماً في تلك العهود بل وفي بعض عهود التاريخ الحديث نفسه، وربما تكون الكوارث الزلزالية التاريخية التي وصلتنا أخبارها أقل بكثير من الكوارث التي لم تصلنا أخبارها. وفيما يلي أمثلة قليلة لبعض الكوارث الزلزالية الحديثة.

المنطقة التي ضربها الزلزال وتاريخه	أهم نتائجه
١ ـ لشبونة (البرتغال) سنة ١٧٥٥	انشقت الأرض على طول أحد الأنهار وابتلعت مياهه بما عليها من زوارق، كما ابتلعت سنة ١٧٥٥ رصيفاً قوياً كان مبنياً على جانبه وغاص معه الناس الذين فروا من منازلهم وتجمعوا فوقه، وانطبقت الأرض على كل ما ابتلعته، كما حدثت موجات

المنطقة التي ضربها الزلزال وتاريخه	أهم نتائجه
	«تسونامي» عاتية أغرقت مناطق واسعة. وبلغ عدد القتلى خمسين ألف شخص.
٢ ـ حوض المسيسبي الأدنى سنة ١٨١١	هبطت مناطق واسعة في ولاية ميوري وتيلبسي، وتكون بحيرات جديدة منها بحيرة ريل فوت Reelfeet في تينيسي ويبلغ قطرها ٢٨ كيلو متراً.
٣ ـ منطقة القاهرة (مصر) ١٨٤٧	هدم آلاف المنازل بالقاهرة والفيوم.
٤ ـ مقاطعة شانتونج (الصين) سنة ١٨٥٢	حدثت تصدعات في القشرة الأرضية وانشق مجرى جديد لنهر هوانجو الأدنى فتحول النهر فجأة إلى المجرى الجديد وأصبح هضبة يقع إلى الشمال من المصب الأصلي بنحو ٤٥٠ كيلومتر.
٥ ـ خليج ياكونات (ألاسكا) سنة ١٨٩٩	حدثت تصدعات في القشرة وارتفعت بعض المناطق الساحلية بنحو ١٠ ـ ١٥ متراً.
٦ ـ كاليفورنيا سنة ١٩٠٩.	حدثت حركة انزلاق واضحة في القشرة وتغير منسوب سطح الأرض في بعض المناطق بمقدار ثمانية أمتار.
٧ ـ سان فرانسيسكو ـ كاليفورنيا ـ ابريل ١٩٠٦	تدمير مدينة سان فرانسيسكو.
٨ ـ مسينا (إيطاليا) سنة ١٩٠٨	دمرت المدينة وما حولها وقتل حوالي ١٦٤ ألف شخص.
٩ ـ طوكيو ويوكوهاما اليابان سبتمبر سنة ١٩٢٣	دمرت المدينتان، وحدثت موجات تسونامي أغرقت مناطق واسعة وتشققت الأرض في أماكن كثيرة وبلغ عدد القتلى أكثر من ربع مليون شخص.
١٠ ـ مقاطعة كانسو (الصين) سنة ١٩٢١	دمرت المدن والقرى في منطقة شاسعة وانهارت تربة اللوبس فانسدت الأنهار وحدثت فيضانات خطيرة. وقتل مائتا ألف شخص.
١١ ـ مقاطعة كانسو (الصين) سنة ١٩٢٧	تكرر ما حدث في سنة ١٩٢١ وقتل مائة ألف شخص.
١٢ ـ أكوادور سنة١٩٤٩	حدثت انهيارات أرضية خطيرة دفنت كثيراً من القرى وسدت مجرى أحد الأنهار فتكونت مكانه بحيرة كبيرة.

المنطقة التي ضربها الزلزال وتاريخه	أهم نتائجه
١٣ ـ مدينة أغادير بالمغرب ـ فبراير، سنة ١٩٦٠	دمرت بالمدينة بأكملها وقتل عشرين ألف شخص.
١٤ ـ مدينة بورت رويال (جاميكا) يونيو سنة ١٩٦٢	دمرت المدينة وقتل حوالي عشرين ألف شخص وحدثت رويال الانزلاقات أرضية خطيرة فجرفت أكثر من نصف المدينة إلى البحر.
١٥ ـ غرب إيران ـ سبتمبتر ١٩٦٢.	دمرت ٧٥ قرية وقتل حوالي عشرين ألف شخص.
١٦ ـ مدينة أسكويلي (يوغوسلافيا)، يوليو سنة ١٩٦٣.	دمرت المدينة كلها وقتل ١٢٠٠ شخص.
١٧ ـ مدينة أنكوريج (ألاسكا) مارس، سنة ١٩٦٤.	دمرت المدينة وحدثت تصدعات في القشرة الأرضية وقتل بضعة آلاف شخص.
١٨ ـ شمال شرق إيران ـ أغسطس سنة ١٩٦٨	دمر العديد من القرى والمدن في منطقة واسعة وقتل خمسون ألف شخص.
١٩ ـ شمال شيلي، مارس سنة ١٩٦٥	إنهار أحد السدود واندفعت المياه المحملة بالرواسب الطينية والرملية والأحجار فأغرقت مدينة «الكوبر» وردمتها وقتل بضعة آلاف شخص.
٢٠ ـ مدينة ماناجوي (نيكاراجوا) ـ ديسمبر سنة ١٩٧٢.	دمرت المدينة كلها وقتل خمسة الآف شخص.
٢١ ـ شمال الباكستان ـ ديسمبر سنة ١٩٧٤.	دمرت تسع قرى وقتل عشرة آلاف شخص.
٢٢ ـ منطقة القاهرة (مصر) أكتوبر ١٩٩٢.	تدمير مئات المنازل وتشريد وإصابة ووفاة عدة آلاف من السكان

أهم الآثار الجغرافية للزلازل:

١ ـ تشقق الأرض وتفتقها: كثيراً ما تؤدي الكوارث الزلزالية إلى تشقق طبقات القشرة وتفتقها وقد تهبط بعض المناطق وترتفع غيرها وإذا كانت المنطقة الهابطة مجاورة للبحر قد يؤدي هبوطها إلى اختفائها تحت مياهه، كما حدث مثلاً في مدينة بورت رويال (في جامايكا) سنة ١٩٦٤ حيث هبط جزء كبير من المدينة وغمرته مياه البحر. وكانت حركات الهبوط واضحة كذلك في حوض المسيسبي سنة ١٨١١ حيث هبطت مناطق واسعة من ولايتي مسوري وتينيسي وتكونت في أجزاء منها بحيرات جديدة. ويعد الزلزال الذي ضرب اليابان عام ١٨٩١ من أشهر الزلازل التي أثرت في تشكيل سطح الأرض، حيث انفلقت الأرض على طول ١١٢ كيلومتراً فهبط جانب من جانبي الشق بمقدار يتراوح بين ٦ أمتار و٦٠ متراً، كما أن الزحف الجانبي بلغ نحو ٤ أمتار. كما أدى الزلزال الذي ضرب مدينتي طوكيو ويوكوهاما سنة ١٩٢٣ إلى هبوط أجزاء من قاع خليج ساجامي الذي نشأ للزلزال تحت قاعه بأكثر من ٣٠٠ متر. كذلك كان من أثر الزلزال الشهير ـ بسبب حدوث انكسار سان اندرياس ـ الذي دمر مدينة سان فرانسيسكو بالولايات المتحدة عام ١٩٠٦ أن انفلقت الأرض وتبع ذلك تكسر وانهيار كل ما هو موجود على السطح (شكل رقم: ٣٧ ـ ٥). أما حركات الرفع فقد كانت واضحة في زلزال ياكوتات في ألاسكا سنة ١٨٩٩ حيث ارتفعت بعض المناطق الساحلية حوالي ١٥ متراً، وقد يحدث في حالات نادرة أن تنشق الأرض وتبتلع بعض ما على السطح من مظاهر ثم تنطبق على ما ابتلعته، وقد قيل أن هذا قد حدث بشكل واضح أثناء زلزال لشبونة سنة ١٧٥٥. وقد كانت هذه الحادثة بالذات واحدة من الدوافع القوية التي حملت الباحثين على توجيه اهتمام أكبر إلى دراسة الزلازل على أساس علمي صحيح. ويضاف إلى الآثار السابقة أثر الزلزال في الصخور التي تخترقها موجاتها، فالموجات الزلزالية تسبب جهداً في تلك الصخور وبالتالي إضعافها وسهولة تحطمها.





(شكل رقم: ٣٧ ـ ٥) آثار زلزال مدينة فرانسيسكو (١٨ ابريل ١٩٠٦) على أحد الشوارع في المدينة، وعلى المنشآت الطرقية أثناء زلزال عام ١٩٧١)

٢ ـ موجات التسونامي[1] Tsunami (أو أمواج البحر الزلزالية Seismic Sea Waves)، وهي موجات بحرية عالية جداً تسببها الزلازل العنيفة التي تنشأ تحت قاع البحر أو بالقرب منه. وقد يزيد ارتفاع موجة التسونامي على ثلاثين متراً، ويزيد طولها على ٢٥٠ كيلومتراً، وقد تبلغ سرعتها أكثر من ٧٠٠ كيلو متر في الساعة، ولذلك فإنها تندفع فوق المناطق الساحلية التي تصادفها بقوة هائلة فتمحو كل مظاهر الحياة والعمران في المناطق التي تغمرها (شكل رقم: ٣٢ـ٥). ولا تقتصر خطورة هذه الموجات على المناطق القريبة من مركز الزلزال بل إنها قد تسافر لمسافات طويلة جداً لتضرب مناطق ساحلية بعيدة عن مراكز نشأتها حتى أن بعضها قد يعبر المحيط الهادي كله، وقد حدث هذا فعلاً في بعض الكوارث الزلزالية مثل زلزال شيلي سنة ١٩٦٠ حيث اندفعت موجة تسونامي عظيمة الامتداد والارتفاع نحو الشرق بسرعة هائلة فضربت الجزر التي كانت في طريقها، ومنها جزر هاواي، ثم وصلت إلى سواحل اليابان حيث أحدثت كثيراً من التدمير والتخريب وقتلت حوالي مائتي شخص. وذلك على الرغم من وصول تحذيرات سابقة بقدومها. وقد استغرقت رحلتها عبر المحيط (حوالي ١٦ ألف كيلو متر) ٢٣ ساعة. وقد حدثت موجات تسونامي كذلك أثناء زلزال اليابان سنة ١٩٢٣ وفي زلزال لشبونة سنة ١٧٥٥.

٣ ـ الانهيارات والفياضانات وانبثاق العيون المائية: إذا حلت الكارثة بمناطق ريفية فربما تكون الخسارة في الأرواح أقل نسبياً منها في المدن بسبب صغر القرى وصغر المباني وانتشارها ووجود مناطق خالية يمكن أن يلجأ إليها السكان بسرعة، ومع ذلك فقد تكثر الحرائق وتنهار جسور الأنهار والقنوات. وكثيراً ما يحدث في المناطق الجبلية أن تنهار طبقات التربة السميكة أو طبقات الصخور أو الجليد أو تنهار السدود والخزانات. وكثيراً ما تؤدي هذه الانهيارات

---

(١) كلمة تسونامي أصلها ياباني حيث أن الجزر اليابانية تشتهر بحدوث هذه الموجات.

إلى دفن القرى أو إغراقها. وخير مثال لذلك ما حدث في كارثتي مقاطعة كانسو بالصين في سنتي ١٩٢١ و ١٩٢٧ حيث انهارت الطبقات السميكة لتربة اللويس الطينية فدفنت العديد من القرى وسدت مجاري الأنهار والقنوات وأحدثت فيضانات مدمرة. وكانت كارثة أخرى أشد عنفاً من هاتين الكارثتين قد حدثت كذلك في مقاطعة شانتونج بالصين في سنة ١٨٥٣ وأدت إلى تحويل نهر هوانجهو الكبير عن مجراه الأصلي في قسمه الأدنى إلى مجرى آخر جديد. وقد حدث ذلك أيضاً في شمالي شيلي أثناء زلزال سنة ١٩٦٥ حيث انهار أحد السدود فأغرق إحدى المدن المجاورة، كما حدثت في إكوادور سنة ١٩٤٩ انهيارات أرضية أدت إلى دفن عدد من القرى تحت تكويناتها، كما انسد مجرى أحد الأنهار وتكونت مكانه بحيرة كبيرة. ومن أثر الزلازل أحياناً انهيار وانبثاق عيون مائية، كما حدث في حلوان بمصر من ظهور عين كبريتية بعد زلزال عام ١٩٢٦. وقد يكون مركز الزلزال تحت سطح البحر فتنتاب مياهه موجات مد شديدة تكتسح المناطق الشاطئية مثلما حدث قرب جزيرة جاوة عام ١٨٨٣ عندما قذفت الأمواج بباخرةوداخل الغابات المحيطة بالشاطىء لمسافة تبعد ٤ كيلومتر عن الشاطىء.

٤ ـ تدمير المدن وطرق المواصلات: تشترك الكوارث الزلزالية في أغلب مظاهر التخريب والتدمير وفقدان الأرواح، وتعظم الخسائر بصفة خاصة إذا حلت الكارثة بمدينة كبيرة يزدحم فيها السكان وترتفع فيها المباني، حيث تؤدي الكارثة إلى دفن آلاف السكان تحت أنقاض المباني المنهارة (شكل رقم: ٣٣ـ٥) واشتعال الحرائق بسبب انفجار خزانات الوقود، فضلاً عن طفح المجاري وإغراق الطرق بسبب تكسر أنابيب المجاري والمياه. ومما يزيد في هول الكوارث الزلزالية وكثرة ضحاياها أن هذه الكوارث تؤدي غالباً إلى تدمير طرق المواصلات ووسائل النقل البرية والنهرية، حيث تلتوي خطوط السكك الحديدية وتدمر الطرق وتطغى عليها مياه الفياضات أو الانهيارات المختلفة.

وتدخل الدراسة الحديثة للزلازل ضمن علوم الطبيعة الأرضية Geophisics

والمعروف أن هذه العلوم لها صلات قوية بعلوم طبيعية أخرى مثل علوم الجغرافيا الطبيعية والجيولوجيا والطبيعة. ومع التقدم السريع في كل هذه العلوم وغيرها انسلخت منها علوم كثيرة تخصص كل منها في أحد الفروع الدقيقة ومن بينها علم السيسموجرافيا[1] Seismography، أو علم دراسة الزلازل.

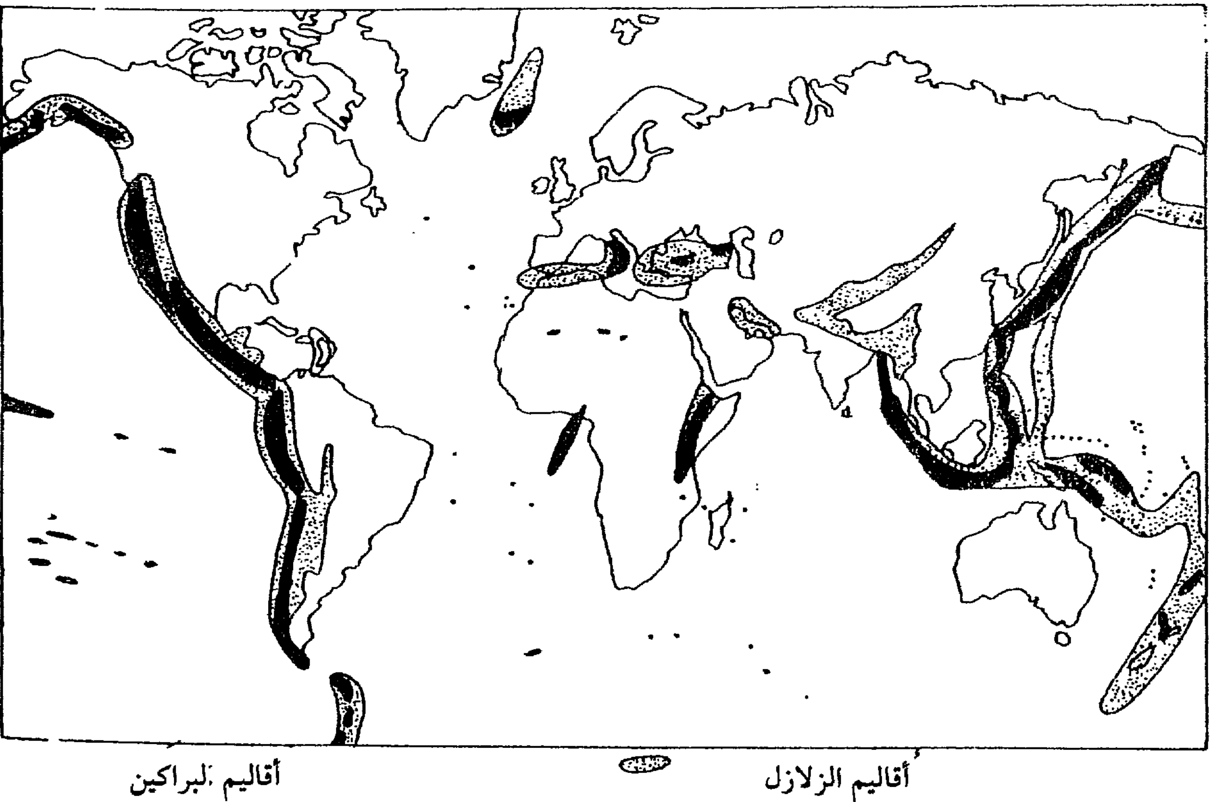
ولئن كان الإنسان قد استطاع بفضل التقدم العلمي أن يحمي نفسه من بعض الظاهرات الطبيعية الخطيرة فإنه ما زال عاجزاً عن أن يحمي نفسه من خطر الزلازل، لأنها تحدث دائماً فجأة وبغير إنذار. وقد حاول بعض العلماء المهتمين بدراسة الزلازل أن يتوصلوا إلى طريقة يمكن بواسطتها التنبؤ باقتراب حدوثها، ولكن جميع المحاولات لم تصادف نجاحاً يستحق الذكر، وكل ما أمكن عمله لتقليل الخسائر التي تنجم عنها في المناطق التي تتعرض لها هو إقامة المباني بشكل خاص وبمواد معينة تستطيع مقاومة الهزات الأرضية. فقد تبين مثلاً أن الأسمنت المسلح هو أصلح مادة للبناء في هذه المناطق. وكلما كان حجم البناء صغيراً وارتفاعه قليلاً كانت مقاومته للهزات الأرضية كبيرة، والمباني المشيدة على أرض صخرية صلبة والتي يتعمق أساسها في الأرض لمسافة كبيرة تكون كذلك أقدر على تحمل هذه الهزات من المباني التي تقام على السطح أو التي لا تتعمق في الأرض بالقدر الكافي الذي يحفظ لها توازنها عند حدوث الهزات الأرضية.

التوزيع الجغرافي للزلازل:

إذا درسنا خريطة توزيع الزلازل في العالم فنلاحظ أن هذا التوزيع يتركز في نطاقين رئيسيين أو حزامين يعرفان بالأحزمة الزلزالية Seismic Belts.

---

(١) الاسم العلمي للزلزال هو Seismos، وهي كلمة يونانية قديمة تستخدم بمشتقاتها المختلفة في الدراسات العلمية الخاصة بهذا الموضوع، وعلى هذا الأساس أطلق اسم «سيسموجراف Seismograph» على جهاز قياس الموجات الزلزالية، وظهرت تعبيرات أخرى كثيرة مشتقة من نفس الاسم.



(شكل رقم: ٣٨ ـ ٥) توزيع الزلازل في العالم وعلاقته بأقاليم البراكين

والحزام الأول هو منطقة دائرة المحيط الهادي Circun- Pacific Belt وهي تقريباً نفس منطقة توزيع البراكين. والحزام الثاني يطوق العالم القديم من الغرب إلى الشرق، وهو يبدأ على سواحل المحيط الأطلسي في الغرب ما بين جزر الرأس الأخضر حتى شمال البرتغال، ومن هنا يواصل امتداده نحو الشرق من شمال أفريقية وجنوب أوروبا ماراً بجبال البرانس عبر أسبانيا ومنها إلى إيطاليا واليونان وتركيا والقوقاز وإيران فشمال الهند حيث جبال الهملايا ثم جزر الهند الشرقية ويعرف هذا الحزام باسم حلقة ليبي Libby's Circle (شكل رقم: ٣٨ ـ ٥).
ومن الملاحظ أن التوزيع الجغرافي للزلازل يتفق مع التوزيع الجغرافي للبراكين تقريباً ويرتبط تماماً بتوزيع نطاقات الجبال الالتوائية ومناطق الضعف الأخرى أو مناطق عدم الاستقرار في القشرة الأرضية. وهناك نطاقان آخران يمتد أحدهما في وسط المحيط الأطلسي من أقصى شماله إلى أقصى جنوبه متمشياً مع الشق الطولي الذي يوجد في وسط السلسلة المرتفعة الممتدة في وسط هذا المحيط.
ويواصل هذا الشق امتداده نحو الجنوب ثم يلف حول الطرف الجنوبي لقارة أفريقيا، ثم يتجه نحو الشمال في غرب المحيط الهندي. أما النطاق الآخر فيمتد في شرق أفريقيا على طول الوادي الأخدودي الأفريقي العظيم African Great Rift Valley ويمتد شمالاً ليشمل البحر الميت وغور الأردن وينتهي في سهل الغور بجنوب سوريا.

الفصل السادس

العوامل الخارجية (السطحية)

العوامل الخارجية (السطحية)[1]

لئن كانت العوامل الداخلية (الجوفية) - التي شرحناها في الفصل الخامس - هي المسئولة عن اضطراب وتجعد سطح اليابس بما تحدثه من ارتفاعات وانخفاضات أو من تفاوت المناسيب بين رقاع الأرض، فإن مجموعة العوامل الخارجية (السطحية) تمارس نشاطها فوق سطح الأرض أو من الخارج، وتعطي وجه الأرض معالمه الدقيقة وقسماته التفصيلية. وتستمد العوامل الخارجية جميعاً طاقتها من الشمس وقوة جاذبية الأرض، فالشمس هي مصدر الحرارة المحركة لتيار الهواء من مكان لآخر، والباعث على تبخر الماء من المسطحات المائية وسقوطه بعد ذلك مطراً أو ثلجاً، بعضه يسقط على المحيطات، وبعضه الآخر يسقط على اليابس، فينتهي إلى البحار والمحيطات أو يغور في الأرض ليكون الآبار أو المجاري الجوفية. والهواء هو المحرك للأمواج. هذه العوامل في حركتها الدائبة تتولى تشكيل وتغيير وجه الأرض وتمنحه معالمه وتعطيه قسماته.

ونظراً لأن هذه العوامل خارجة عن باطن الأرض - ولذا فقد تسمى بالعوامل الظاهرية - وهي عوامل طبيعية ليس للإنسان دخل فيها، كما قد يطلق عليها اسم «عوامل التعرية» Agents of Erosion ، حيث تشمل التعرية كل عوامل الهدم التي تخضع لها أجزاء من سطح قشرة يابس الأرض. فهي تقوم بتفتيت

(١) هناك نوع آخر من العوامل تؤدي مهمتها تحت مياه البحار والمحيطات Sub - Oceanic Agents، أما العوامل السطحية Sub - Aereal Agents فإنها تعمل على سطح الأرض تحت الهواء.

المادة الصخرية وتفككها وتحللها وتنقلها من مواضعها وترسبها في موضع آخر. وتضم عوامل التعرية كل من عامل الجو أو التجوية والعامل الحيوي، وكلاهما يقوم بعمل تمهيدي يسهل لبقية العوامل القيام بدورها. كما تشمل عوامل النحت والنقل والإرساب التي تتمثل في كل من المياه الجارية والجليد المتحرك والرياح، بالإضافة إلى الأمواج والتيارات البحرية التي يقتصر أثرها على تشكيل الجهات الساحلية. ونتيجة للتفاعل (التأثير والتأثر) بين هذه العوامل يتخذ سطح الأرض أشكالاً مختلفة هي ما يعبر عنه بأشكال سطح الأرض Landforms ومن مجموع هذه الأشكال وما بها من ارتفاعات وانخفاضات يتكون ما يعرف بالتضاريس. فالمياه الجارية بالأنهار، وكذلك ألسنة الجليد المتحركة بالأودية، تقوم بحفر أخاديد عميقة على منحدرات الجبال، وتؤدي إلى تمزقها وتضرسها، وتنقل فتات الصخر المتجمع لديها لترسبه ـ بعد أن يضعف تيارها أو يهن شبابها ـ في المنخفضات، أو تصبه في البحار والمحيطات، حيث تنشأ ظاهرات أو أشكال أرضية جديدة. أما الرياح فتذرو حبيبات الرمال والغبار وتحملها وتنقلها من مواضعها لترسبها في أماكن أخرى بعيدة على شكل كثبان رملية بأشكالها المختلفة إما داخل الصحراء أو بحذاء ساحل البحر. وكذلك الأمواج القوية تضرب السواحل فتحطم صخور الشاطىء في موضع ما وتنحته فيبدو بأشكال مختلفة، وتلقى بحمولتها من الحصى والرمال في موضع آخر. ولا يظهر أثر هذه العوامل خلال حياة الإنسان البسيطة، وإنما يظهر هذا التأثير بعد فترات طويلة، ومن هنا تبدو أهمية عامل الزمن، ولكي نفسر هذه الحقيقة نذكر مثلاً أن سطح الجزيرة البريطانية يفقد قدماً واحداً (٣٠,٤ سنتيمتر) في كل ٣٠٠٠ سنة. وقد كان نهر النيل يضيف إلى واديه ودلتاه نحو ملليمتر واحد في كل فيضان ـ أي كل سنة ـ أو بعبارة أخرى كان السطح في هذه الجهات يرتفع متراً واحداً كل ١٠٠٠ سنة، إلا أن هذه الظاهرة تكاد تنعدم في الوقت الحالي نظراً لبناء الخزانات والسدود والقناطر على مجرى النيل وتحكم الإنسان في جريان مياهه.

كل هذه العوامل الخارجية (السطحية) ـ أو عوامل التعرية ـ وإن اختلفت

صورها ووسائلها فهي تعد من عوامل تسوية سطح الأرض التي تهدف في النهاية إلى الإطاحة بمعالم وجه الأرض البارزة وملء فجواته الغائرة، أو بمعنى آخر أن هدفها نحت ـ أو خفض ـ الأجزاء المرتفعة وإرساب ما فتته في الأجزاء المنخفضة وبذلك يرتفع مستواها، فكأنها تعمل في اتجاه مضاد لعمل مجموعة العوامل الداخلية (الجوفية)، التي ذكرناها من قبل، التي من طبيعتها البناء، كما أنها المسئولة عن الأشكال التضاريسية البارزة والغائرة بالسطح الخارجي من القشرة الأرضية، فهي تعمل من جانبها على تجديد مظاهر سطح يابس هذه القشرة باستمرار، وإن دل تباين مناسيب سطح الأرض في الوقت الحالي على شيء فإنما يدل على تفوق مجموعة عوامل البناء الداخلية على مجموعة عوامل التسوية الخارجية، أو على الأقل بلوغ المجموعتين من العوامل درجة من التعادل، يبقى على ما لوجه الأرض من معالم تتنوع بين جبال وهضاب وتلال وسهول وأحواض وأودية. فحركات باطن الأرض تسبب الزلازل والبراكين وترتفع أو تخفض سطح الأرض ومن ثم تجد العوامل الخارجية مجالاً جديداً لممارسة نشاطها، فكثير من الجبال الشاهقة الارتفاع التي نشأت في مراحل مبكرة من تاريخ الأرض تآكلت ونحتت وأصابها الهرم، فلم يبق منها سوى جذور متداعية، وكثير من الأحواض الغائرة امتلأت بالرواسب. وهكذا يرجع إليهما معاً سبب استمرار تغير سطح الأرض.

والعوامل الخارجية ـ أو عوامل التعرية ـ المختلفة تعمل جميعها في تعاون دائم، وهي وإن كانت عوامل هدم ـ كما ذكرنا ـ إلا أنها في الوقت عينه عوامل نقل وإرساب، ونستثنى من هذه الحقيقة عامل «الجو» فهي يختلف عن العوامل الخارجية الأخرى في أنه أداة لتفكيك الصخور وتحليلها فقط ولا ينقلها أو يرسبها فكأنه يساعد العوامل الأخرى على فعلها ويسهل من عملها. ويلاحظ أن معظم هذه العوامل ذات طبيعة مناخية، ومن ثم كانت دراسة مناخ العالم ضرورية لتفهم الآثار المتغيرة والناجمة عنها. كما أن هناك عدداً من الأسس التي يجب مراعاتها عند دراسة الشكل البنائي الخارجي لسطح الأرض، فالعوامل

الطبيعية وقواها ـ سواء كانت عوامل داخلية (جوفية) أو عوامل خارجية ـ هي بعينها التي عملت في الأزمنة الجيولوجية المنصرمة، وإن كان ليس من الضروري أن تكون بنفس التركيز والكثافة التي تعمل بها حالياً. كما أن البنية الجيولوجية لقشرة الأرض كانت عاملاً ضابطاً ومتحكماً في تطور المظاهر والأشكال السطحية كما تنعكس عليها. كما دلت الأبحاث والدراسات، أن قليلاً من الأشكال السطحية يعود عمره إلى ما قبل زمن الحياة الحديثة (الكاينوزوي) وأن معظمها لا يزيد عمره عن عهد البليوستوسين، وبالتالي فإن تفسير للمظهر الحالي لتضاريس سطح الأرض لا يكون ممكناً بدون الرجوع إلى أثر التغيرات الجيولوجية والمناخية التي حدثت إبان ذلك العهد.

ويمكن أن نحدد إطار دراسة مجموعة العوامل الخارجية (السطحية) وتناولها على أساس عدد من المحاور هي:

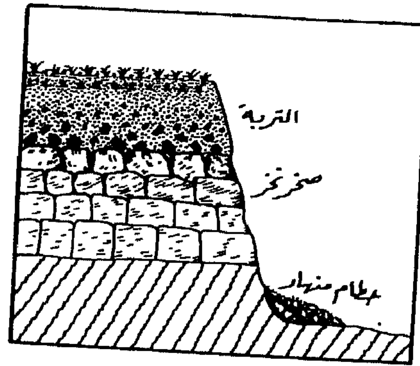
(١) العمليات أو الوسائل التي يعمل بها كل عامل من هذه العوامل، فالأنهار مثلاً تعمل بحمولتها من السطحي ومختلف الرواسب، والرياح تعمل بوسيلة هامة هي الذرات من الرمال والغبار وحمولتها من الحصى التي تعمل كمعاول نحت وهدم.

(٢) الميدان أو المكان الذي يعمل وينشط فيه كل عامل ويظهر تأثيره في هذا المكان واضحاً، فالأنهار أهم ميادين عملها هي الجهات الممطرة، والرياح أهم ميدان عملها هو الصحراء حيث يظهر أثرها واضحاً.

(٣) النتائج التي تترتب على فعل كل عامل منها، فالأنهار ينتج عن فعلها أودية وسهول رسوبية، والرياح ينتج عنها أودية ومنخفضات في بعض مناطق الصحراء كما ينتج عن إرسابها الكثبان الرملية.

أ ـ عامل «الجو»

نقصد «بالجو» هنا الغلاف الجوي (الغازي) أو الهواء الراكد الساكن (لأن الهواء المتحرك يسمى رياحاً). وتأثير الجو يقتصر على تفتيت (تحطيم) وتحلل الصخور فقط فلا ينقلها أو يرسبها كالأنهار والرياح فهو يمهد لأعمال العوامل الخارجية الأخرى. ومن المعروف أنه نادراً ما تؤثر عوامل التعرية الخارجية في الصخور الصلدة، التي إذا لم تتعرض أسطحها للضعف بفعل عناصر الجو (حرارة ورطوبة) وهواء وكائنات عضوية، فإنها تقاوم النحت والإزالة تحت تأثير هذه العوامل. وخير مثال لذلك الصخور الجيرية التي تبدو فيها عوامل الضعف واضحة جلية حيث يتحول لونها من خلال مقاطع الطرق ومقاطع المحاجر من أبيض ناصع إلى أحمر صدىء تتخلله الشقوق والمفاصل الكبيرة والصغيرة بأعداد لا تعد ولا تحصى خاصة قرب السطح، كما تغطيه غلالات من التربة البنية أو الحمراء الداكنة يختلف سمكها من مكان لآخر، توجد تحتها مجالات من الصخور المحطمة مختلطة بالحصى والطين، قبل أن نصل إلى الصخر السليم أسفل هذا كله (شكل رقم: ١ ـ ٦). وتعرف العمليات التي تسبب ضعف الصخر ووهنه وتشققه وتحلله باسم «التجوية» Weathering وهي تشبه دائماً



(شكل رقم: ١ ـ ٦) قطاع سطحي عام في الصخور الجيرية

بأضراس الطبيعة التي تسحق الصخر وتفتته فتشكل بذلك البداية الأولى في عملية تعريته بواسطة العوامل الخارجية الأخرى. غير أن ميدان نشاط عمليات التجوية بالنسبة للأرض ككل ميدان محدود للغاية، وذلك لكون التجوية عمليات خارجية بحتة، يقف أثرها عند حد الأسطح المكشوفة من الصخر، وقلما تتجاوزها لأبعد من بضعة سنتيمترات تحته، إلا إذا توغلت خلال فجوات الصخر وفوالقه الكبرى لبضع عشرات من السنتيمترات أو الأمتار. وهنا يجب أن نميز في عامل الجو بين عنصرين هامين، لهما أكبر الأثر في تفتيت وتحلل صخور القشرة الأرضية، وهذان العنصران هما: تغير درجة الحرارة اليومية ورطوبة الجو أو بخار الماء في الهواء.

(١) تغير واختلاف درجة الحرارة اليومية

يعد هذا العنصر من أكثر عناصر الجو تأثيراً في الصخور فهو يعمل على تفكك أو تفتيت الصخور بطريقة ميكانيكية، وهو بذلك من أشبع وسائل التجوية الميكانيكية أو النحوية الطبيعية. ونقصد باختلاف درجة الحرارة هنا، ذلك الاختلاف السريع الذي يحدث ما بين ارتفاع درجة الحرارة أثناء النهار، وانخفاضها أثناء الليل. ولا شك أن هذه الظاهرة هي أقوى ما تكون في الجهات الصحراوية الجافة، لأن الجفاف نفسه يساعد على ارتفاع الحرارة نهاراً تحت تأثير أشعة الشمس وهبوطها بسرعة في الليل بعد أن تغيب الشمس. وفي أثناء هذه العملية تتمدد المعادن ـ التي تتكون منها الصخور ـ تحت تأثير الحرارة المرتفعة نهاراً ثم تعود فتنكمش تحت تأثير برودة الليل التي قد تهبط إلى درجة الصفر أو ما يقرب منها. ونحن نعرف أن الصخور تتكون من معادن مختلفة لكل منها معامل خاص في الانكماش والتمدد، ومن هنا، ونتيجة لهذا الاختلاف يتفكك الصخر ويفقد قوة تماسكه. وتتكون مجموعة من المفاصل لا يلبث بعدها أن يتكسر الصخر إلى كتل كبيرة، وهذه الخطوة تعد العملية الأولى في سلسلة العمليات التي تؤدي إلى تفكك صخور القشرة، ثم تليها عمليات أخرى

تنتهي بتكسر الصخر إلى كتل صغيرة، ثم إلى قطع أصغر فأصغر، ثم إلى حبيبات وهكذا، حتى ينتهي الأمر بتفكك الصخر إلى جزئياته الأولى التي يتألف منها. وفي الجهات الجبلية والصحراوية يمكننا أن نشاهد كتلاً عظيمة من الصخر قد انفصلت عن جسم الجبل بهذه الطريقة، ثم انحدرت مع الانحدار العام، واستقرت أسفل الجبل، وقد تحدث مثل هذه الكتل الكثير من الأخطار على السكان في هذه المناطق.

وتبعاً لكل ما سبق يؤدي التفاوت الحراري إلى مجموعة من العمليات والوسائل الهامة التي تؤثر في الصخر ميكانيكياً (شكل رقم: ٢ ـ ٦)، نذكر منها:

(١) التقشر الصخري Exfoliation، وهو عبارة عن انفصال صفائح رقيقة أو سميكة أو قشور من أسطح الصخر. كما هي الحال فيما ينتاب صخر الجرانيت وحجر الصوان تحت ظروف معينة. وينتج عن ذلك جلاميد كروية أو بيضاوية.

(٢) التفلق الصخري Shattering وهو عبارة عن تكسر جسم الصخر وانقسامه إلى كتل على طول خطوط المفاصل وسطوح الانفصال التي تمزق أجزاءه، والتي توجد عادة في مجموعات مختلفة الاتجاهات، تتقاطع مع بعضها بزوايا شتى. وحين يؤدي تغير واختلاف درجة الحرارة إلى توسيع هذه المفاصل، فإن كتلة الصخر الأصلية تتفكك وتستحيل إلى حطام من جلاميد وكتل أصغر تحدها المفاصل والشقوق. ومع ازدياد التفاوت الحراري قد ينفصل الصخر في شكل كتل ضخمة بشكل رأسي أو أفقي وتعرف هذه العملية باسم انفصال الكتل الصخرية Block Separation، أو التفكك الكتلي Block disintegration.

(٣) التشظى (أو التورق) Flanking وينتج عن تعرض الصخر للتكسر والانشطار إلى شرائح وشظايا وقطع صغيرة مستطيلة الشكل على طول تشققات صغيرة

في كتلته عندما يشتد فعل التباين الحراري، لا سيما على صخور الشست المتحولة.

(٤) الانفراط الحبيبي **Granular disintegration**، أي انفراط حبيبات الأسطح الخارجية من الكتل الصخرية بانفصال جزئيات من هذا السطح على شكل بللورات منفردة أو مجموعات منها، كما هي الحال بالنسبة للصخور الجرانيتية عندما تنفرط جزئياتها مكونة رمالاً خشنة، تكثر في مناطق توافر هذه الصخور بالجهات الصحراوية.









(شكل رقم: ٢ ـ ٦) أثر التفاوت الحراري في الصخر

وكما لاحظنا فإن عمليات ووسائل التجوية الميكانيكية بفعل التفاوت الحراري تنتهي دائماً بتفتيت الصخر أو تفككه، وتحويله إلى جزئيات أصغر

فأصغر مع مرور الزمن، دون أن تلحق بمكوناته تغييراً يذكر، فهي إذن مجرد عمليات لانتزاع قطع من الصخر واقتلاعها وجرشها أو سحقها وهي في مواضعها أو قريباً منها.

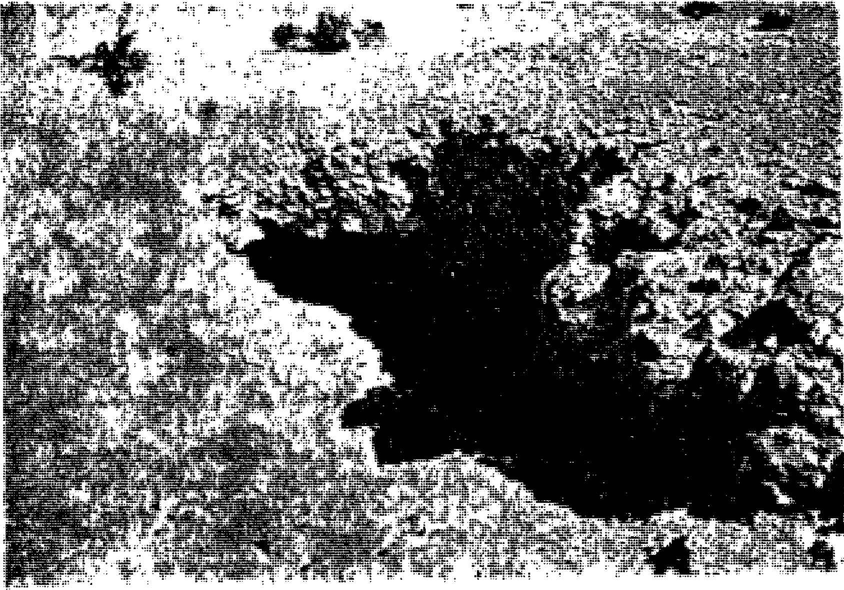
ب ـ رطوبة الجو

يقصد برطوبة الجو أنها مقدار ما يحمله الهواء من بخار الماء. ويؤثر بخار الماء في تفتيت الصخور بإحدى الطريقتين الآتيتين:

(١) الطريقة الكيميائية

ويطلق عليها اسم «التجوية الكيميائية»، وهي عمليات كيميائية تلحق تغيرات جذرية بالمواد الصخرية التي تصيبها، فتحولها إلى مواد أخرى مختلفة عن المواد الأصلية، مثال ذلك معدن الفلسبار في الصخور التي تشتمل عليه حين يتعرض لتغيرات كيميائية فإنه يتحول إلى مادة الطين (الكاولين)، التي تختلف في تركيبها وفي خصائصها الطبيعية وأهما خاصية الحجم عن المعدن الأصلي. ومن هذه العمليات: عملية الإذابة Solution، فكثير من الصخور تحتوي على عناصر قابلة للذوبان، فمثلاً لو تعرض صخر كالملح أو الجبس لهذه العملية، لذاب، وزال من الوجود. وإذابة المادة بهذه العملية تسمى الغسيل الكيميائي Leaching. وهذه العملية تترك الصخر ومسامه أوسع أو على الأقل أضعف وأقل مقاومة لعوامل التعرية، وقد تؤدي هذه العملية إلى إزالة أجزاء كاملة من الصخور. وهناك طريقة أخرى غير الإذابة، وهي عملية تحلل الصخور بفعل حامض الكربونيك، والتي تعرف باسم عملية الكربنة أو التكربن Carbonation. وتتلخص في أن ماء الأمطار أثناء سقوطه خلال طبقات الهواء فإنه يحمل معه جزءاً من ثاني أكسيد الكربون الموجود به، فتكون النتيجة نوعاً من حامض الكربونيك المخفف، وعلى الرغم من كونه مخففاً، إلا أنه محلول

عظيم الفعالية في إذابة المواد الكلسية، فالماء النقي تماماً قليل التأثير على مادة الكالسيوم، بعكس الحامض (حامض الكربونيك + كالسيوم = بيكربونات الكالسيوم + ماء). والبيكربونات مادة قابلة للذوبان في الماء، ولهذا فإن عملية الكربنة تبدو أوضح ما تكون في مناطق الحجر الجيري تحت ظروف المناخ الرطب، ويتخلف عنها شوائب الصوان والطين الذي يكون نوعاً من التربة المحلية الحمراء اللون الصالحة للزراعة، وعندنا منها نماذج كثيرة بلبنان وباقي الأقطار العربية المطلة على الساحل الشرقي للبحر المتوسط. وتبدأ الإذابة على امتداد مفاصل الصخور الكلسية، التي تظل تتسع على حساب الكتل الصخرية المتلاشية، مشكلة فجوات وكهوف تعرف في بعض جهات شبه الجزيرة العربية باسم الدحول (شكل رقم: ٣ ـ ٦). وهناك طريقة ثالثة وهي أن المياه المتسربة



(شكل رقم: ٣ ـ ٦) فجوة تكونت بفعل عملية الكربنة في الصخور الجيرية وتعرف باسم «الدحل»

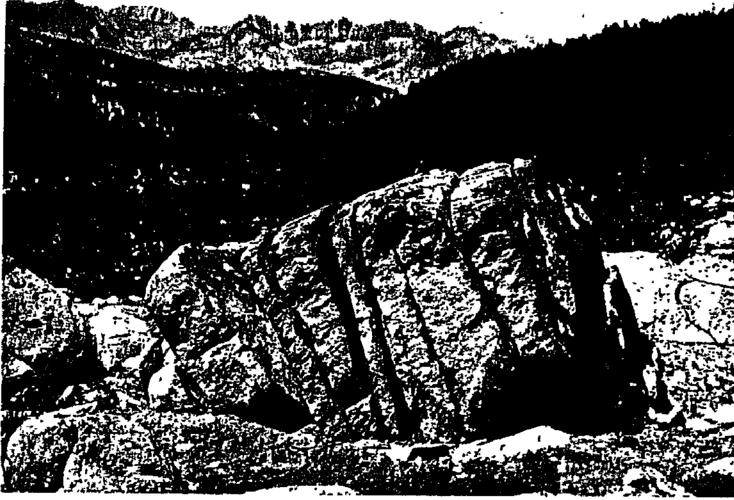
خلال الشقوق في الصخر، تحتوي على كميات كبيرة من الأكسجين الذائب معها، فإذا اتحد جزء من هذا الأكسجين بأي عنصر من العناصر التي تدخل في تركيب الصخور، فإن هذا العنصر لا يلبث أن يتحول إلى أكسيد العنصر. وتعرف هذه الطريقة بعملية الأكسدة Oxidation. ومن المعروف أن أكاسيد العناصر أقل صلابة من العناصر نفسها، وهذه العملية شائعة الحدوث في صخور البازلت التي تحتوي على عنصر الحديد بوفرة نسبية، أو أكسيد الحديد بطبيعة أضعف من الفلز نفسه، ولذا فإن معنى الأكسدة بالنسبة للصخور إضعاف ليونتها، وتقليل مقاومتها لعوامل التعرية، والعملية الرابعة من التجوية الكيميائية هي عملية التميؤ أو الهدرته Hydration وهي عبارة عن اتحاد الماء بأحد العناصر التي يتألف منها الصخر، أو هي العملية التي يصبح فيها الماء ضمن مكونات العنصر الجديد الذي نشأ عن عنصر آخر. ومن هذا الاتحاد ينشأ عنصر أضعف تماسكاً من العنصر الأصلي، مما يؤدي إلى تقليل صلابة الصخر. مثال ذلك تحلل الفلسبار في صخر الجرانيت إلى الكاولين (الطين) الذي يحتوي على جزئيات الماء. وغالباً ما يؤدي التميؤ أو الهدرته إلى زيادة حجم المادة الأصلية للصخر بما يتحد معها من ماء ـ وقد تصل هذه الزيادة إلى ٨٨٪ من الحجم الأصلي للصخر ـ فيترتب على زيادة الحجم تمدد الأغشية الخارجية من الأسطح الصخرية، في حين يظل حجم الكتلة الداخلية ثابتاً وبالتالي يكون مصير هذه الأغشية الانفصال على شكل قشور.

والتجوية الكيميائية تحدث في كل المناطق الصخرية في العالم. فمياه الأمطار عند سقوطها واختراقها للهواء تمتص غاز ثاني أكسيد الكربون من الهواء وتصبح حامض كربونيك. وفي التربة تتحد هذه المياه مع مواد أخرى من النباتات المتآكلة. وتستطيع هذه المياه بعد اتحادها بغاز ثاني أكسيد الكربون وبالبقايا العضوية أن تقوم بعمليات كيميائية أقوى من المياه نقية. وتنشط التجوية الكيميائية في المناطق التي ترتفع فيها درجات الحرارة وكمية الرطوبة. وعلى الرغم من ذلك فهناك اعتقاد شائع بأن التجوية الكيميائية تسود عادة

بالأقاليم الرطبة ـ المدارية أو المعتدلة ـ من سطح الأرض، لأن عنصر الماء عنصر هام كوسط تتم فيه التفاعلات الكيميائية، بيد أن البعض يعتقد بأهمية العمليات الكيميائية حتى في البيئات الجافة وشبه الجافة، وأنها في تلك البيئات رغم ندرة الماء، لا تقل شأناً عن العمليات الميكانيكية، فالهواء في الظروف الطبيعية مهما جف، فأنه حتماً يشتمل على نسب من الرطوبة التي يمكن أن تتكاثف على الأسطح الصخرية في شكل الندى خلال أوقات النهايات الصغرى للحرارة.

(٢) الطريقة الميكانيكية

وبهذه الطريقة أيضاً تتفكك الصخور، بدون أن تذوب أو تتحلل. وأهم ظاهرة في هذه الطريقة، هو تحول الماء إلى صقيع بعد أن يتسرب شقوق الصخر على عمق قريب أو بعيد عن سطح الأرض. وتعرف هذه العملية باسم فعل الصقيع Frost action. وهي عملية تماثل دور التفاوت الحراري في الأقاليم الباردة. ويرى البعض أنها أشد بأساً، أو على الأقل أوضح تأثيراً من عملية التمدد والانكماش الذاتي بالصحاري الجافة. وينشأ فعل الصقيع نتيجة تتابع تجمد المياه وذوبانها بين الليل والنهار في مفاصل الصخر وشقوقه بعد تسربها إليه (شكل رقم: ٤ ـ ٦)، فمن المعروف أن المياه التي تدخل مسام التربة وشقوق الصخر وفوالقه أثناء النهار، أو خلال الفصل الدافىء بالجهات الباردة. فأنها تتجمد أثناء الليل أو أثناء الفصل البارد، عندئذ يزداد حجم بلورات الثلج المتكون في الفجوات عن حجم الماء الداخل في تكوينه، بمعدل يتراوح بين ٩٪ و ١١٪، فتتولد لذلك ضغوط شديدة من داخل الصخر نحو الخارج، تكون من العنف بدرجة تفوق طاقة الصخر على التماسك فيتهشم ويسحق.



(شكل رقم: ٤ ـ ٦) أثر فعل الصقيع على تفكك الصخر

وينبغي ـ في المحصلة ـ أن نشير إلى تكافل النوعين من العمليات الميكانيكية والكيميائية، فهما يعملان في تكاتف بحيث لا يمكن وضع حد فاصل بين أثر الواحد والآخر فشيوع التجوية الميكانيكية بمنطقة ما، يساعد بصفة مباشرة على انتشار العمليات الكيميائية بهذه المنطقة.

التفكك والتحلل الصخري بفعل الكائنات الحية

تقوم الكائنات الحية بدور لا يستهان به في عملية تفكك وتحلل الصخور التي تعرف باسم التجوية الحيوية والتي تتم بواسطة النبات والحيوان والإنسان الذين يقومون بعمل تدميري للصخور يتمثل في التجوية بنوعيها، الميكانيكية والكيميائية، فالأشجار إذ تضرب بجذورها في شقوق الصخر بحثاً عن ما هنالك من تربة هزيلة، أو سعياً وراء قدر بسيط من الرطوبة، فإنها باستمرار نموها وتضخم جذورها تؤدي إلى توسيع الشقوق وتعميقها واتصالها، حتى تنفصل في

النهاية كتل من الصخر، وتقتلع من مواضعها (شكل رقم: ٥ ـ ٦)، ولدينا أمثلة كثيرة على هذه الظاهرة حيث تتشقق الأسوار والجدران التي تحفها صفوف من الأشجار، تتلف جذورها المباني، وتتسبب في تداعيها.



(شكل رقم ٥ ـ ٦) تفكك الصخر بتوسيع شقوقه وتعميقها بواسطة نمو وتضخم جذور الأشجار

كذلك الديدان الأرضية التي توجد بمئات الملايين في الفدان الواحد من الأرض، هذه الديدان تنحت طريقها في جوف التربة، مخلفة وراءها متاهات من الثقوب والمسارب، فتزيد من مساميتها، وبالتالي من قابليتها على التهوية وسريان الماء، كما أن هذه الكائنات حين تموت وتتعفن بقاياها، تدخل مع

الماء في تركيب أحماض عضوية تنشط العمليات الكيميائية، وأخيراً فأن بعض الحيوانات الأرضية كالجرذان والأرانب، والحشرات كأنواع النمل المختلفة ـ في الأقاليم الحارة الرطبة ـ حين تحفر مآويها في باطن الأرض، تساعد على تفتيت الصخر، وإدخال الوهن إلى جوفه، وبناء تلال من تلك المفتتات تعرف بجبال النمل Tenmenites.

والإنسان حين حفر الأنفاق في جوف الصخر، ومن خلال عمليات التعدين والتحجير الكثيفة، فأنه بهذا يعد عامل تجوية هام، حتى ليقال بأن الآثار التي تركها على وجه الأرض من هذه الناحية، تعادل عمل الطبيعة وحدها في عشرات الملايين من السنين، كما يشاهد أثر الإنسان فيما يحفر لإرساء قواعد أبنيته وشق الطرق والقنوات، وغير ذلك من الأنشطة التي تغير جذرياً من معالم وجه الأرض.

وفي بعض الأحيان، تنشأ التجوية الميكانيكية بسبب الحرائق التي تشب في أقاليم الحشائش والغابات، هذه الحرائق قد تندلع لأسباب طبيعية كالصواعق، أو قد يشعلها الإنسان عن عمد رغبة في إخلاء الأرض من النبات الطبيعي لاستغلالها في أغراض الزراعة أو إقامة مراكز العمران، وكثيراً ما تشب النيران أيضاً بسبب غفلة الإنسان وإهماله، فتلتهم آلاف الأفدنة من الأشجار والحشائش قبل أن تخمد، على أية حال فأن ارتفاع حرارة أسطح الصخر تحت النيران في مناطق الحرائق بشكل مفاجيء، يسبب حدوث تشققات في الصخور، بما يؤدى إلى ضعفها ووهنها أمام العوامل التي تؤثر فيها من هواء أو ماء.

أثر التجوية في تشكيل سطح الأرض

على الرغم من أن عمليات التجوية في حد ذاتها لا تقوم بتكوين أشكال تضاريسية كبرى، فأنها في الواقع تدخل كعنصر هام في الغالبية العظمى من عمليات تشكيل مظاهر سطح الأرض، فهي إذ تؤدي إلى إضعاف مقاومة

الخور، فأنها تهيء السبيل لنشاط عوامل النحت والتعرية، فتيسر عملها في اقتلاع الصخور من مواضعها، ونقلها مسافات متفاوتة قبل أن ترسبها. كذلك فأن تعرض جميع جهات سطح اليابس للتجوية، يجعل عملياتها بحق أوسع انتشاراً من غيرها من عوامل تشكيل وجه الأرض الأخرى كالثلاجات مثلاً التي يقتصر نشاطها على الغروض العليا وأعالي الجبال، أو فعل الأمواج والتعرية الساحلية التي لا تتجاوز الهوامش القارية المشرفة على مياه البحار والمحيطات.

وكما ذكرنا آنفاً أن عمليات التجوية التي شبهناها بأضراس الطبيعة حين تسحق الصخور وتحللها، فأنها بذلك تمهد الخطوة الأولى لجميع العوامل الأخرى من مياه جارية ورياح وجليد، لكي تتولى نقل الحطام فتجره أو تسحبه على الأرض، متخذة منه معاول حادة فعالة في نحت ما برز من القشرة الأرضية، وأحياناً يقع الحطام الصخري تحت تأثير الجاذبية الأرضية على المنحدرات، فيتحرك تلقائياً ببطء في زحف دائب، أو يهوي بسرعة من علٍ إلى قواعد المرتفعات، وجوانب الأودية، وجروف الهضاب.

ولعل أبرز ظاهرات السطح التي تساهم بها عمليات التجوية هي ما يلي:

(١) التربة:يعد الحطام الصخري المفكك بفعل التجوية مصدراً للتربة، فمنه تنشأ وبفضل توافره تنمو وتزداد سمكاً. ولما كان لكل نوع من الصخور مكونات معدنية تخضع بدرجات متفاوتة لعمليات التجوية، فأنه من المتوقع أن تتباين خصائص التربة بتنوع الصخور التي اشتقت منها، ومدى ما أصابها من تفكك وتحلل. فمثلاً عندما تذوب بعض التكوينات أو تتحلل معادنها بالتجوبة فأنها تتحول إلى مواد مفككة بعضها يذوب في الماء وبعضها الآخر غير قابل الذوبان، والمواد التي تذوب في الماء تشمل بعض العناصر التي تتخلف من بعض التكوينات التي تتأثر بالتجوبة الكيميائية مثل كربونات الكالسيوم وكربونات الصوديوم وكربونات المغنيسيوم، فعندما تذوب بعض هذه التكوينات في الماء الذي يحمل بعض ثاني أوكسيد الكربون تتخلف عنها عناصر الكالسيوم والصوديوم والمغنيسيوم، وكلها عناصر يمكن أن تذوب في الماء وتتحول إلى

محاليل، أما المواد غير القابلة للذوبان فأهمها الحصى والرمال والطين والصلصال وأكاسيد الحديد، والمعروف أن هذه الأكاسيد هي التي تعطي للتربة لونها الأحمر أو البنى عندما تخلط بها.

(٢) تخفيض سطح الأرض

تعد التجوية ـ كما ذكرنا ـ عاملاً مساعداً للتعرية، والعكس صحيح، فهي التي تفكك صخور سطح الأرض فتعمل بذلك على تسهيل نحتها ونقل موادها بواسطة عوامل التعرية، وتنكشف بذلك سطوح جديدة لنقوم التجوية بتفتيتها. وهكذا يأخذ سطح الأرض في الانخفاض بالتدريج. وفي المناطق المكونة من صخور جيرية أو دولوميتية قابلة للذوبان في الماء، وخصوصاً الماء الذي يحمل بعض ثاني أوكسيد الكربون ويكون دور التجوية في تخفيض الأرض أسرع منه في مناطق أخرى صخورها غير قابلة للذوبان. وتتضح هذه الظاهرة بصفة خاصة في الأقاليم المطيرة.

(٣) تكوين الكهوف والأنهار الباطنية

ففي مناطق الصخور الجيرية يؤدي تسرب المياه الحاملة لثاني أوكسيد الكربون في شقوق الصخور ومسامها إلى تكوين كثير من الفجوات والكهوف وغيرها، وكثيراً ما تتصل الكهوف والفجوات بعضها ببعض تحت سطح الأرض فتتكون منها سراديب طويلة وقد تحولت مثل هذه الكهوف في كثير من المناطق إلى خوانات ضخمة للمياه الجوفية، كما تحولت السراديب إلى أنهار سفلية يمتد بعضها لمسافات طويلة.

(٤) أغطية الحطام

يتألف الحيز الخارجي للغلاف الصخري من مواد مفككة غير متماسكة هي

نتـاج تجوية أنواع شتى من الصخور المكشوفة، ويتراوح سمك غطاء الحطام بين بضعة سنتمترات ومئات الأمتار، وفقاً للظروف الموضعية، بالإضافة إلى مدى نشاط عمليات الإزالة، وترجع أهمية هذه الأغطية المنتشرة على نطاق متسع حول الأرض، إلـى أن منها تشتق التربة، وفي ثنياها تتراكم المياه الباطنية، والرواسب المعدنية كالحديد والألومنيوم والذهب وغيرها، وتعني سرعة تآكل هذا الحطام انخفاض مستويات السطح بالمناطق المعرضة لإزالته منها.

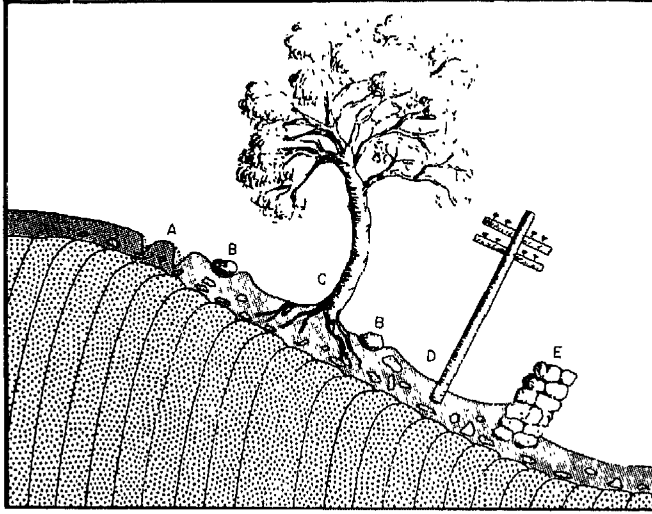
عامل الجاذبية الأرضية

من الواضح أن الجاذبية الأرضية تعد عاملاً مساعداً لبعض عوامل التعرية، مثل المياه الجارية والجليد، على تأدية مهمتها. أما فعل الجاذبية الأرضية كعامل يؤثر في تشكيل سطح الأرض في حد ذاتها ودون الاشتراك مع عوامل أخرى فإنه غير واضح حتى أن البعض لا يعطيه اهتماماً البتة. إلا أنه منذ الأربعينيات من هذا القرن بدأ الاهتمام يزداد بدراسة أثر الجاذبية كعامل جيومورفولوجي، وما ينتج عنها من انهيارات أرضية، وعرف أنها قد تعمل على تشكيل سطح الأرض مثلها في ذلك مثل المياه الجارية تماماً وليس أقل.

وقوة الجاذبية الأرضية توجد في كل زمان ومكان وسواء على سطح الأرض أو في الفراغ، ومن هنا فنجد أن قوة الجاذبية الأرضية قد تؤدي إلى تحريك الصخور المفككة الكبيرة الحجم أو حتى الحصى صغير الحجم. كما أن عمل الجاذبية الأرضية قد يكون بطيئاً أو سريعاً، ومهما كان فعلها بطيئاً ومحدوداً فإنه مع مرور الوقت يؤدي إلى آثار واضحة للغاية. وسوف نلقي الضوء على كل من العمل البطيء والسريع للجاذبية الأرضية ممثلاً في زحف التربة والانهيار الأرضي السريع.

زحف التربة

يعرف زحف التربة Soil Creep بأنه حركة بطيئة لا يمكن ملاحظتها بسرعة كما هي الحال بالنسبة للانهيار الأرضي السريع. وزحف التربة يتم عن طريق حركة فردية لكل ذرة من ذرات التربة. وهذه الحركة وإن بدت ضئيلة وغير ملحوظة إلا أن نتائجها مؤكدة وواضحة. وهناك عوامل عديدة تساعد على زحف التربة مثل تجمد قطرات المياه بين حبيبات التربة، أو سقوط الأمطار على التربة، أو نمو جذور النباتات في التربة مما يعمل على تفككها وزحفها. وهكذا تزحف التربة من أعلى إلى أسفل (شكل رقم: ٦ ـ ٦)، ثم تعمل عوامل أخرى



(شكل رقم: ٦ ـ ٦) أنماط من الأدلة على زحف التربة

لنقل المواد الزاحفة من أسفل التل إلى أماكن أخرى وذلك مثل المياه الجارية، أو تتراكم في أسفل المنحدر مكونة جزءاً قليل الانحدار. وفي الأجزاء التي تصبح فيها التربة طينية مبللة فأن زحف التربة يتم بدرجة أسرع وبصورة أعم ويطلق على هذه الحركة Solifluction. وتتم هذه العملية على نطاق كبير في العروض دون القطبية وفي الارتفاعات الكبيرة حيث تذوب الثلوج في الجزء

العلوي من التربة بينما يكون الجزء السفلي ما زال متجمداً وهذا يساعد الجزء العلوي من التربة على الزحف والانزلاق إلى أسفل. ولا بد من ملاحظة أن زحف التربة أو انهيارها لا تؤدي إلى تكوين مظاهر سطح واضحة للغاية، وأنما هي تؤدي بصورة عامة وعلى المدى الطويل إلى تعديلات في مظاهر السطح.

الانهيار الأرضي السريع

تحدث عملية الانهيار الأرضي بسرعة على المنحدرات الوعرة حيث تنهار كتل كبيرة من الصخور من أعلى المنحدر إلى أسفله، وفي بعض الحالات يكون الانهيار الأرضي شاملاً بحيث يشغل مساحة كبيرة وبكميات ضخمة تقدر بآلاف الأطنان، وقد يؤدي هذا الانهيار إلى أضرار كبيرة في الأجزاء السفلى من المنحدرات قرب بطن الوادي أو في بطن الوادي نفسه، خاصة إذا كانت تشغل بطن الوادي مراكز استقرار عمرانية. وقد حدث، على سبيل المثال، انهيار أرضي ضخم في غرب ولاية ويومنج Wyoming بالولايات المتحدة انهارت بسببه كتلة صخرية حجمها ٣٦ مليون متر مكعب من ارتفاع ٣٣٠ متراً تقريباً (١٠٠٠ قدم)، حتى أن المواد المنهارة سدت مجرى الوادي وأدت إلى تكوين بحيرة في مجراه. ومن أمثلة الانهيار الأرضي السريع كذلك انهيار كتلة هائلة الحجم من جزء من جبل المقطم شرق مدينة القاهرة أدى إلى خسائر فادحة في المنطقة السكنية القريبة من مكان الانهيار.

وهناك نوع آخر من الانهيار الأرضي السريع، وهو انهيار كتلة من التربة توجد على منحدر شديد بعد أن تتشبع التربة بالمياه نتيجة لسقوط الأمطار الغزيرة أو للري المفرط. ويطلق على هذه الحركة التدفق الأرضي Earthflow. ويترك الانهيار الأرضي، في مثل هذه الحالة، جزءاً خالياً مكانه يتناسب حجمه مع حجم الانهيار.

على أنه تجدر الإشارة إلى أن الانهيار الأرضي سواء كان سريعاً أو بطيئاً

فإنه يحدث على السفوح الشديدة الانحدار، وقد يساعد على الانهيار الأرضي السريع عملية النحت التي تقوم بها المجاري المائية في الأجزاء السفلى من المرتفعات أو بواسطة تدخل الإنسان في الطبيعة مثل شق الطرق والأنفاق. كذلك تؤدي الزلازل الشديدة إلى الانهيار الأرضي، كما يؤدي النحت المائي الباطني في مناطق التكوينات الجيرية إلى انهيار الأجزاء العليا من سطح الأرض التي تصبح معلقة بعد نحت الأجزاء السفلى من تحتها.

ب-عوامل النحت (التعرية) والنقل والارساب

يطلق على عوامل النحت والنقل والارساب اسم عوامل التعرية السطحية المتحركة، وهي العوامل التي لا تقتصر مهمتها على تفتيت الصخور وتحللها فقط، وإنما تستطيع أيضاً حمل ونقل المفتتات الصخرية - صغيرة كانت أو كبيرة - من مكان لآخر قد يبعد مئات الكيلومترات. وأهم هذه العوامل المتحركة هي الماء، بصوره المختلفة، سواء الذي يجري منه فوق سطح الأرض في مجاري مائية محددة «تعرف بالأنهار»، أو الذي يجري في مسطحات مائية غير محددة المجرى الأمواج والتيارات البحرية - أو الذي يتسرب داخل القشرة كمياه باطنية، أو في صورة متجمدة - الجليد - وأخيراً الرياح (حركة الهواء). ولا شك أن لكل عامل من هذه العوامل ميدانه الذي تظهر فيه وسائله ونتائجه. فأمواج البحر ، مثلاً، لا يظهر أثرها إلا في الجهات الساحلية، والجليد يظهر أثره في الأقاليم الباردة أو الجهات التي يوجد بها الجليد، وكذلك الرياح يظهر أثرها بوضوح في الأقاليم الصحراوية، وهكذا. ورغم اختلاف وسائل ونتائج هذه العوامل إلا أنها تتفق في طبيعة العمل الذي تقوم به، وهذا العمل ينقسم إلى ثلاث عمليات رئيسة هي النحت والنقل والارساب، نوجزها فيما يلي:

النحت والنقل

بعد أن تحدث عمليات التجوية ـ كعملية أولى في الهدم ـ أثرها في الصخور وتعدها للنقل تبدأ عمليات النحت والنقل (عمليات الإزالة Degredation عملها، وليس من الضروري أن يكون هذا بصورة فورية. ويتم نقل مفتتات الصخور التي أزيلت بفعل النحت، حسب مقدرة العوامل المختلفة على النقل، وقد تنقل هذه العوامل نتاج التعرية عن طريق التعلق أو الجر والدفع أو الطفو أو القفز أو الذوبان ـ وقد يكون ذلك لمسافات قريبة أو بعيدة، ويرجع ذلك إلى نوع الحمولة نفسها وقوة العامل. ويطلق البعض على عملية النحت Erosion وعملية النقل Transportation ويطلق على الاثنين معاً اسم عملية التعرية Erosion وذلك لأنهما مرتبطتان ببعضهما ارتباطاً كبيراً.

والهدف النهائي للنحت والنقل هو تخفيض سطح الأرض إلى أقل ما يمكن وتسويته إلى أقصى ما يمكن، أي أنها تقلل من التباين من مظاهر سطح الأرض بين مكان وآخر، وكذلك تقليل الانحدار وجعله تدريجياً. وأهم العوامل التي تقوم بالنحت والنقل هي الجاذبية الأرضية التي تقوم بعملها إما منفصلة وإما بمصاحبة العوامل الأخرى، أو بمعنى آخر تساعد العوامل الأخرى مثل المياه الجارية أو الجليد المتحرك أو الأمواج أو الرياح.

الارساب

حيث أن عوامل النحت والنقل تقوم بحمل الأجزاء الصخرية التي تفتت ونقلها تحت ظروف معينة، فإن هذه العوامل تقوم أيضاً بإرساب هذه المواد عندما تتغير هذه الظروف وتصبح عوامل النقل غير قادرة على حمل حمولتها من المواد الصخرية فترسبها. وتعرف عمليات الارساب Aggradation بأنها دائماً عملية بناء. ويتم الارساب بطرق متعددة، فقد يتم بواسطة المياه الجارية أو الأمواج أو الجليد أو الرياح. وكل من هذه العوامل يرسب بطريقة مختلفة،

ويرسب مواد تختلف في طبيعتها وأحجامها وذلك حسب قوة عامل التعرية المتحرك وحسب طبيعة مكان الارساب. وهكذا ينتج عن إرساب كل منها شكل تضاريسي Landform مختلف.

وتجدر الإشارة هنا إلى أنه ليس هناك فاصل زمني بين عمليات تشكيل سطح الأرض، أي بين العمليات التكتونية الداخلية والعمليات الخارجية السطحية (الظاهرية)، فالكل يعمل في نفس الوقت فهناك أجزاء ترتفع باستمرار وأخرى تنخفض باستمرار كما أن عمليات التجوية تؤدي نشاطها طوال الوقت. ومن الغريب أن يعتقد البعض أن عوامل التعرية (النحت والنقل) تنتظر حتى تتم عمليات الرفع ثم تبدأ عملها، أو أن عوامل التعرية بعد أن تأتي على الأجزاء المرتفعة تتوقف حتى تحدث عمليات رفع جديدة ثم تستأنف عملها من جديد. وإنما عمليات الرفع وعمليات التعرية مستمرة دائماً وفي نفس الوقت وكل ما في الأمر أن عمليات التعرية قد تقوى أحياناً عندما يكون التباين كبيراً من مظاهر سطح الأرض، وتضعف أحياناً أخرى عندما يكون التباين ضئيلاً بين الأجزاء المرتفعة والأخرى المنخفضة. ولا شك أن أي مظهر من مظاهر سطح الأرض نراه أمامنا، ما هو إلا نتيجة لكل هذه العوامل متكاتفة ومجتمعة. ومن هنا، لا بد عند دراسة مظاهر سطح الأرض من أن نأخذ في اعتبارنا عامل الزمن، وفي هذه الدراسة يجب أن نستخدم مقياساً مختلفاً عن المقياس الزمني الذي نستخدمه عند دراسة الأحداث والمظاهر البشرية. ورغم أن بعض العمليات التكتونية الداخلية تتم سريعة وفجائية ـ كما ذكرنا في الفصل السابق ـ إلا أن هذا هو الشذوذ وليس القاعدة، إذ أن معظم مظاهر سطح الأرض تتم بطريقة بطيئة وعلى مر حقب أو فترات زمنية لا يمكن للانسان خلال حياته القصيرة أن يلاحظ التغير فيها.

ورغم اختلاف عوامل التعرية، إلا أنها كثيراً ما تتعاون وتشترك في تكوين مظاهر خاصة بسطح الأرض. ونحن حين نفرق بينها ونتحدث عنها، كل منها على حدة، فما ذلك إلا لتسهيل دراستها ولتوضيح مظاهر عملية النحت وأشكال

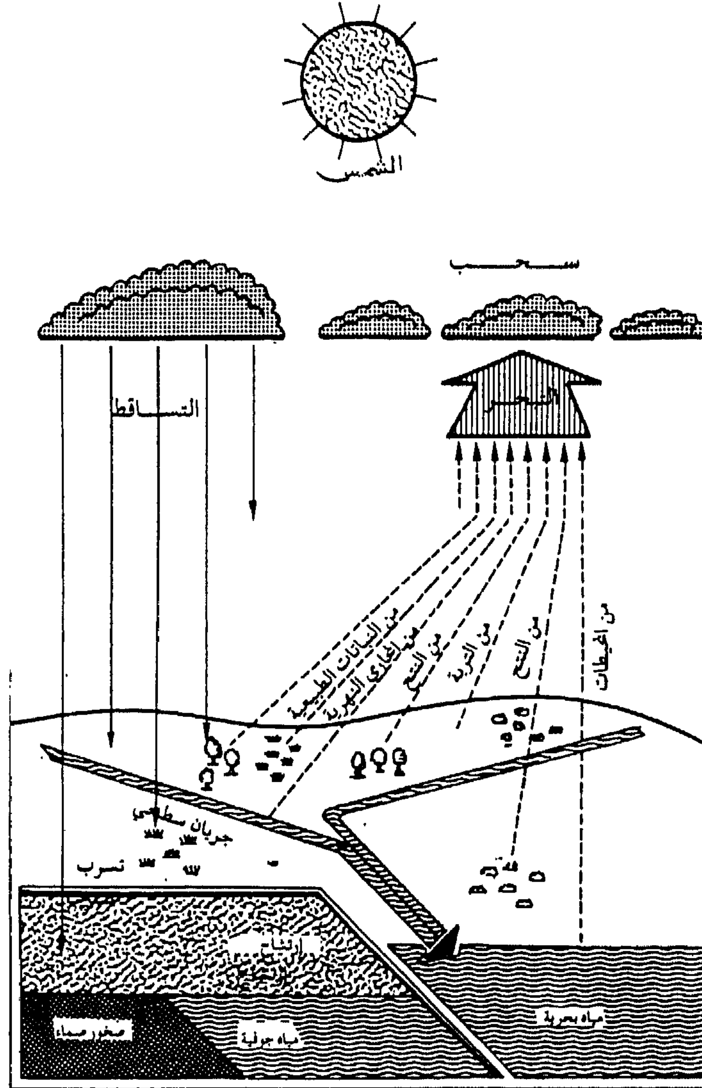
سطح الأرض الناجمة عن عملية الارساب.

المياه السطحية الجارية (الأنهار)

لا شك أن المياه الجارية، المحددة المجرى، فوق سطح الأرض ـ تعد بلا منازع أعظم عامل في تشكيل هذا السطح، ليس فقط في الجهات الرطبة، بل أيضاً في المناطق الجافة وشبه الجافة. فهي القوة العظمى في نحت الجبال وحفر الأودية وفي بناء السهول الفسيحة. وأهم مظاهر المياه الجارية السطحية هي الأنهار. وتبدأ أولى عمليات التشكيل بالتساقط مطراً كان أو ثلجاً، وهذه هي إحدى مراحل الدورة المائية (الهيدرولوجية) العامة التي تشمل تبادل الماء بين المحيطات والجو واليابس (شكل رقم: ٧ ـ ٦) وذلك عندما يتصاعد بخار الماء من المحيطات، فيحمله الهواء إلى حيث تكون الظروف مناسبة، فيتكاثف هذا البخار على شكل سحب تسقط أمطاراً وثلجاً على سطح اليابس، جزء من مياه المطر الساقطة يتبخر قبل أن يلمس سطح الأرض، بينما يتبخر جزء آخر بعد أن يصل التربة، أو بواسطة عمليات النتح التي يقوم بها الغطاء النباتي، ولكن إذا كانت كمية التساقط وفيرة، فإن جزءً من الماء يجري فوق السطح، وهو يقدر بثلث كمية التساقط الفعلي تقريباً، ويكون هذا الجزء المسيلات والجداول والشعاب، التي تتجمع في روافد، تتشابك وتتصل متحدة في مجار رئيسية وأنهار، وهذا ما يعرف باسم الانسياب السطحي الذي تنحصر أشكاله في التدفقات المائية العشوائية والمسيلات والجداول الصغيرة والقنوات النهرية الدائمة أو الثابتة، ونوجز خصائص كل منها:

التدفقات المائية العشوائية

يتميز هذا النوع من الانسياب السطحي عن تيارات المياه الجارية بالقنوات النهرية في أنه لا يتبع مجار محددة مستديمة واضحة المعالم، بل ينتشر في



(شكل رقم: ٧ ـ ٦) الدورة المائية (الهيدرولوجية) العامة

أغشية رقيقة، وأشرطة رفيعة من الماء، تنشأ بسرعة فوق السطح بعدما تتساقط الأمطار على بقاع وجه الأرض المختلفة، وتتخذ التدفقات العشوائية أشكالاً متباينة منها ما يعرف في الجهات الرطبة بالتدفقات الغطائية، التي تنتشر على

شكل أغشية مائية رقيقة، خاصة بأسطح الجهات الصخرية الصماء أو المغطاة بالتربة، والتي تتميز باستواء غير عادي لسطح الأرض، ومنها أيضاً ما يجتاح الجهات التي تغطيها الحشائش والأعشاب، فيسري بين الأعشاب كأشرطة رفيعة متعرجة تشبه الخيوط، أو تسري تحت أوراق الأشجار المتساقطة بمناطق الغابات.

يشابه هذا النوع من التدفقات المائية بالمناطق الرطبة، نوع آخر بالمناطق الجافة وشبه الجافة، يعرف باسم الفيضانات الغطائية (السيول) الصحراوية ويختلف عما سبق من حيث عظم كمية المياه المنسابة أثناء حدوثه ووفرتها، كذلك غالباً ما يحمل الفيضان الصحراوي كميات طائلة من الرواسب السطحية التي دأبت عمليات التجوية على تفتيتها أزماناً طويلة.

المسيلات والجداول الصغيرة

توجد مرحلة من الانسياب السطحي بين التدفقات المائية العشوائية السابقة الذكر، وبين المجاري المائية المحددة كالروافد والأنهار، تتبع مجار محددة، ولكنها صغيرة وغير ثابتة، هي ما يعبر عنه باسم المسيلات أو الجداول، هذه المسيلات تنشأ بالآلاف أثناء كل عاصفة مطر، وتنقص عقب ذلك بأيام قليلة، وتتخذ هذه المسيلات مسارات شبه متوازية على جوانب التلال، ومقاطع الطرق، ولا يتعدى عمق الواحد منها بضعة سنتيمترات، وأحياناً يتبع ظهور هذه الجداول نظاماً فصلياً يتفق مع مواسم المطر، ولكنها سرعان ما تختفي وتلتئم الأرض في فصول الجفاف، وأهم ما يميز هذا النوع من الانسياب السطحي عظم نشاطه في تعرية التربة بالمناطق التي يزال منها الغطاء النباتي الطبيعي، أو بالمناطق المزروعة على جوانب المنحدرات، ما لم تتخذ الاجراءات الوقائية المناسبة.

ويتحدد مصير المياه التي تفيض بها التدفقات العشوائية والمسيلات تبعاً

لكمية الأمطار، وطول فترة سقوطها، فإذا كان المطر غزيراً ومستمراً لفترة كافية، فإن المياه تنصرف إلى القنوات النهرية أو روافدها، وأما إلى البحيرات القريبة، أما إذا كانت الأمطار قليلة ضاعت المياه بالتبخر والتسرب قبل وصولها القنوات الدائمة والمسطحات المائية.

القنوات النهرية الدائمة (الثابتة)

تتبع المياه الجارية أقصر المسارات في هبوطها على جوانب المنحدرات. وتنتظم في شبكات متكاملة تعرف باسم نظم التصريف المائي، يشغل كل منها مساحة أرضية تنصرف إليها المياه التي قد تسقط على جميع بقاع هذه المساحة، وهذا ما يعرف باسم حوض التغذية Catchment area، ويفصل كل حوض عما يجاوره بواسطة قمم مرتفعات تؤلف ما يعرف باسم منطقة أو خط تقسيم المياه. ويلاحظ أن المياه الجارية في الأحباس العليا من أي حوض نهري تتبع مجار صغيرة، لا يلبث الكبير منها أن يجتذب الصغير فينمو على حسابه ويتلاشى الصغير ويبقى الكبير الذي يكبر بفضل ما ينصب فيه من مجار أصغر. فيتكون لذلك رافد مائي صغير، وحين تنصرف مجموعات منه إلى روافد أكبر تتكون روافد ثانوية، تنصب بدورها في روافد رئيسية، تنتهي إلى القناة النهرية الرئيسية. .

فالقنوات المائية الدائمة الثابتة المحددة إذن عبارة عن أخاديد أرضية طولية حفرتها المياه الجارية على سطح الأرض، لكي تتمكن هذه المياه بما تحمله من رواسب من سلوك أنجح المسارات لنقل كل ما يصل من حوض التغذية بين المنابع والمصبات، وتختلف سعة القنوات المائية الطبيعية للأنهار فتتراوح بين قنوات ضيقة وأخرى واسعة يزيد عرض بعضها على الكيلومتر.

وتنحدر القنوات النهرية الرئيسية (الأنهار) مع الانحدار العام، وتنتهي

أخيراً في البحار والمحيطات. وقد تنتهي مياه بعض الأنهار في أحواض داخلية، فلا تصل إلى البحر ـ كما هي الحال في بحيرة تشاد، أو البحر الميت، ويسمى التصريف المائي في هذه الحالة تصريفاً داخلياً.

وفي بعض الحالات لا يكون المطر هو المصدر المباشر لمياه النهر، فكثير من الأنهار يكون مصدر مياهها إما الجليد الذائب أو بعض الينابيع الأرضية، كما يختلف مقدار ماء النهر من فصل لآخر، ويرجع ذلك بالطبع إلى موسم المطر، أو إلى فترة الجفاف. إلا أن هناك بعض الحالات تساعد على حفظ مياه النهر دائماً، ومن هذه الحالات وجود بحيرات في مجرى النهر تمده بالمياه، وتعمل بمثابة الخزانات التي تمد النهر بالتدريج بما يحتاج من مياه، وكذلك وجود بعض الغابات والنباتات التي تعترض مجرى النهر، فتعوق سرعة جريانه، فتتجمع مياهه وتنصرف بالتدريج. وعلى كل حال، مهما كانت الأنهار منتظمة في جريانها، إلا أنه عادة يكون لها مواسم فيضان وموسم انخفاض. وفي الجهات الجافة وشبه الجافة غالباً ما تكون الأمطار هي سبب الفيضان، أما في الجهات الرطبة، فيتحكم عامل التبخر في زيادة مياه النهر (شتاء) ونقصانه (صيفاً). وهناك بعض الأنهار التي تفيض في الربيع وأوائل الصيف، وهي الأنهار التي تغذيها الثلوج الذائبة في هذا الوقت، خصوصاً إذا جاء الربيع دافئاً بعد شتاء قارس طويل.

وتتوقف سرعة جريان النهر على كثير من العوامل أهمها: درجة انحدار المجرى، ومقدار مياه النهر. فمن حيث درجة الانحدار، نعرف أن معظم الأنهار تنبع من مناطق جبلية أو جهات مرتفعة، لأنها أكثر جهات الأرض مطراً ـ لذا كانت أعالي الأنهار أشد انحدار وأسرع جرياناً من أجزائها الوسطى أو الدنيا قرب المصب. وكقاعدة عامة نقول بأنه كلما كان النهر قصيراً، عالي المنابع، كان انحداره شديداً. فعلى سبيل المثال، نجد أن متوسط درجة انحدار نهر الكلورادو في أمريكا الشمالية هي ١ : ٥٠٠ (أي متر لكل نصف كيلومتر) وهي نسبة انحدار كبيرة جداً إذا ما قورنت بمتوسط انحدار نهر النيل وأسوان إلى

البحر المتوسط والتي تبلغ ١ : ٥٠٠٠ (أي بمعدل متر لكل ٥ كيلومتر). أما نهر الأمزون فنظراً لضعف انحدار مجراه والذي يبلغ ١ : ٢٠٠٠٠ (أي بمعدل متر لكل ٢٠ كيلومتر) فإن يتميز ببطء جريانه. أما من حيث مقدار مياه النهر، فهذا أيضاً عامل هام يؤثر في سرعة النهر إذ يكون جريان النهر أسرع كلما كانت مياهه أكثر وأعظم. ولا شك أن هناك قوة جديدة وهي قوة تدافع المياه نفسها. ويجب أن نلاحظ أيضاً أن سرعة جريان المياه تختلف في عرض المجرى الواحد، فهي في وسط مجرى النهر أسرع منها في جانبيه، وهي على السطح أسرع قليلاً منها على القاع.

حوض ووادي ومجرى النهر

حوض النهر هو عبارة عن تلك المساحة من الأراضي التي لو سقط عليها أي كمية من الأمطار لانحدر جزء منها إلى مجرى النهر الأصلي، فحوض النهر إذن هو تلك المساحة من الأراضي التي تضم جميع أجزاء النهر من روافده وأعاليه وفروعه حتى مصبه. وقد تصل مساحة الحوض أحياناً إلى ملايين الكيلومترات المربعة. وعادة ما يحف بحوض أي نهر مجموعة من المرتفعات تفصل بينه وبين أحواض نهرية أخرى، وهذه المرتفعات هي ما نسميها بخط تقسيم المياه، فمرتفعات بحر الغزال في وسط أفريقيا هي خط تقسيم المياه بين نهري النيل والكونغو، ومرتفعات البرانس في جنوب غرب أوربا هي خط تقسيم المياه بين أنهار فرنسا وأنهار شبه جزيرة أيبيريا. والأنهار التي تصب في بحر أو محيط فإن أحواضها تسمى أحواضاً مفتوحة كنهر النيل، أما إذا كان النهر ينتهي إلى بحيرة أو أرض منخفضة فإن حوضه يسمى حوضاً مغلقاً كنهر الفولجا.

ووادي النهر هو ذلك المنخفض المستطيل الذي كونه النهر والذي يجري فيه النهر والذي إذا أفاض لغمره بمياهه. ومن هنا فإن الرواسب النهرية هي التي

تحدد مساحة هذا الوادي داخل الحوض. أما مجرى النهر فهو جزء منخفض من الوادي أو القناة التي تجري فيها مياه النهر نفسه، وهو يشغل جزءاً صغيراً من مساحة وادي النهر. وتنقسم مجاري الأنهار حسب سرعتها وخصائصها إلى ثلاثة أقسام هي: (١) المجرى الأعلى. ويسمى بالمجرى الجبلي لأنه يشغل المنابع، ويتوقف عنفه على درجة ارتفاع المنبع. والمجرى النهري هنا شديد الانحدار ضيق الاتساع تكثر به المساقط المائية، شديد النحت. (٢) المجرى الأوسط، ويطلق عليه أحياناً تعبير «الوادي»، وهو هنا متوسط السرعة والاتساع لتفرغه للنحت والارساب. (٣) المجرى الأدنى يطلق عليه اسم «السهل»، والنهر في هذا الجزء ضعيف التيار يجري فوق أرض من صنعه، تحف به البحيرات المتقطعة.

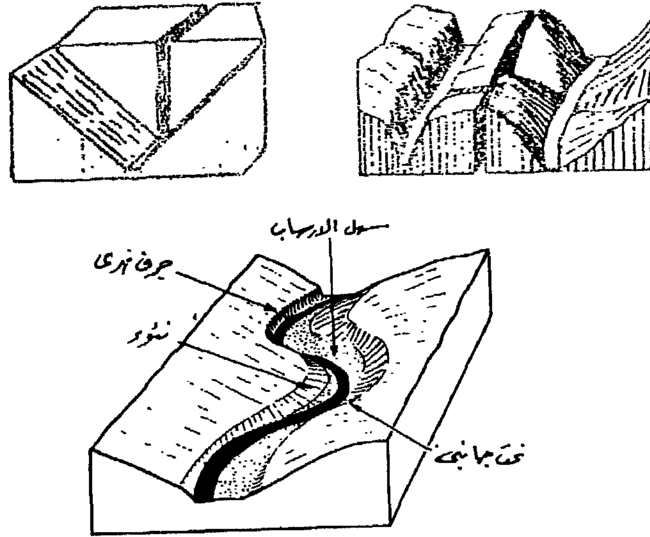
وتمارس الأنهار نشاطها في تشكيل قشرة الأرض بواسطة ثلاث عمليات رئيسة هي النحت والنقل والارساب. وفيما يلي دراسة موجزة لكل من هذه العمليات.

النحت والنقل النهري

الواقع أن كثيراً من عمليات النحت اتي تقوم بها المياه السطحية الجارية، قد لا تختلف كثيراً عما تقوم به عمليات النقل، فالنحت والنقل في بعض مظاهرهما شقان لعملية واحدة هي إزالة المواد. لأن النهر إذ يقوم بنقل المواد من موضع ما فإنه يعمل بذلك على تخفيض مستوى سطح هذا الموضع، أي نحته. ويتضح هذا بصفة خاصة أينما شق النهر مجراه خلال صخور رسوبية مفككة أو صخور ضعيفة التماسك، فإنه في هذه الحالة يتمكن من رفع جزئيات هذه الرواسب بسهولة من مواضعها. ومن ثم يمكن أن نعد هذا نحتاً أو نقلاً. كذلك الحال بالنسبة للصخور القابلة للذوبان بفعل مياه الأنهار، فإن عملية الإذابة في حد ذاتها تعد من قبيل النحت، لأنها تقلل من حجم الصخور التي

تعرضت بعض معادنها للذوبان، بينما يعد حمل مياه النهر بالمواد المذابة وحركتها مع التيار المائي من عمليات النقل. أما في الجهات التي تتألف من صخـور صلبة فإن النحت النهري في حد ذاته لا يؤدي عملاً ذا شأن، ما لم تمهد له السبيل عوامل أخرى كالتشقق والمفاصل وانتشار سطوح الانفصال في الصخور، ثم التجوية الكيميائية بما تحدثه من توسيع لخطوط الضعف هذه، فتيسر على تيار الماء الجاري تحـت الصخور واكتساحها، وغالباً ما يكون الفضل في هذا راجعاً إلى حمولة الماء المسبقة من فتتات الصخر الـذي يستخدمه التيار كمعاول هدم أو مطارق ينتزع بها الكتل الصخرية ويقتلعها من مواضعها.

وتقوم مياه الأنهار الجارية بنحت الصخور وحفر الأودية وتعميقها وتوسيعها (شكل رقم: ٨ ـ ٦)، وهذا في الواقع هو الخطوة الأولى في عملية التعرية النهرية، التي سيتبعها خطوات أخرى هي النقل ثم أخيراً الارساب. ويتم النحت عن طريق اصطدام الفتات الصخري المنقول مع التيار بجوانب المجرى وقاعه، واحتكاك الكتل المنقولة بعضها بالبعض. وهذه العملية تؤدي أيضاً إلى تحطيم وسحق الفتات المنقول، فتتضاءل أحجامه على طول رحلة الأنهار من المنابع إلى المصبات. وتتوقف عملية النحت في شدتها على وفرة الرواسب، فكلما زادت الرواسب كانت قدرة المياه أشد في عملية النحت، ثم سرعة الجريان، ووفرة المياه، وأخيراً طبيعة الصخور نفسها، فكلما كانت الصخور لينة كانت أسرع في الزوال من الصخور الصلبة. كما أن وجود غطاء نباتي يعوق النحت إذ أن كل نبتة تقوم كسد صغير يعوق حركة المياه وبالتالي يضعف من قوة نحتها. والنحت النهري إما أن يكون بطريقة ميكانيكية Corrasion بأن يحطم قطعاً من الصخور، أو يكون بطريقة كيميائية Corrosion بأن يذيب الصخور ثم تحملها مياه النهر ذائبة. ففي المجاري العليا للأنهار بالمناطق الجبلية حيث معـدلات الانحـدار كبيـرة، تلعـب عمليـة اقتـلاع الصخـور بـواسطـة الضغـط الهيدروليكي دوراً كبيراً في النحت، فالتيارات المائية الجياشة بفعل اندفاع المياه



(شكل رقم: ٨ ـ ٦) توسيع المجرى النهري بعد تعميقه

بشدة تولد فيما بينها طاقة عظيمة من الضغط، كفيلة باقتلاع كتل كبيرة من الصخر الذي تحده المفاصل، ومن ناحية أخرى تعمل التيارات المائية المضطرمة على تكوين حفر في قيعان القنوات (شكل رقم: ٩ ـ ٦)، تظل تتسع بفضل دوامات الماء والمواد المنقولة حتى تتصل ببعضها، فيزداد عمق هذه القنوات. كذلك تنشط عمليات النحت النهري بمناطق الشلالات، حيث تتراجع التكوينات اللينة أسفل التكوينات الصلبة، فلا تجد هذه في النهاية ما يدعمها من أسفل فتنهار في المجرى وتتكسر وتحملها المياه بعيداً.

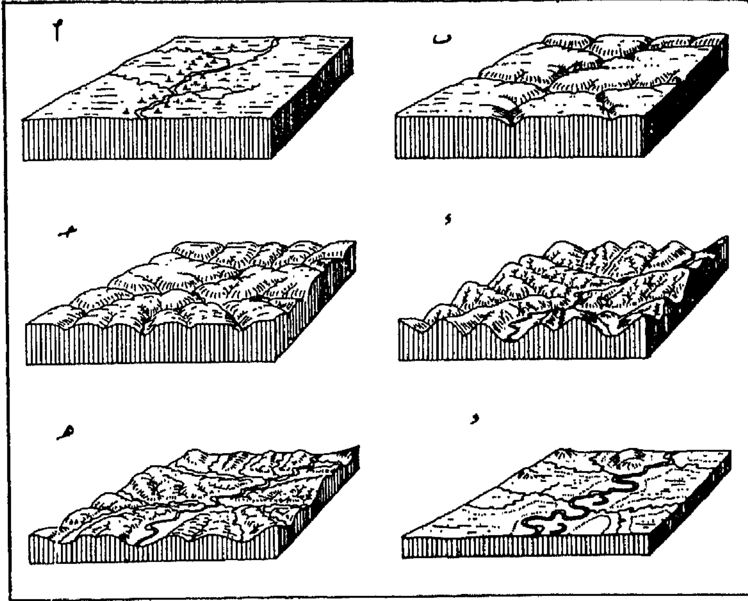
ونتيجة لهذا العامل يستطيع النهر أن يحفر واديه في وسط الجبال والذي يتناسب مع كمية المياه وسرعة التيار ودرجة صلابة الصخر، فيزداد العمق والسعة مع مرور الزمن، كما أن منابع النهر وروافده تستطيل في عملية نحت تراجعي خلفي صاعد إلى أن تبلغ قمم المرتفعات تجاه خطوط تقسيم المياه التي



(شكل رقم: ٩ ـ ٦) حفرة وعائية على قاع مجرى نهري

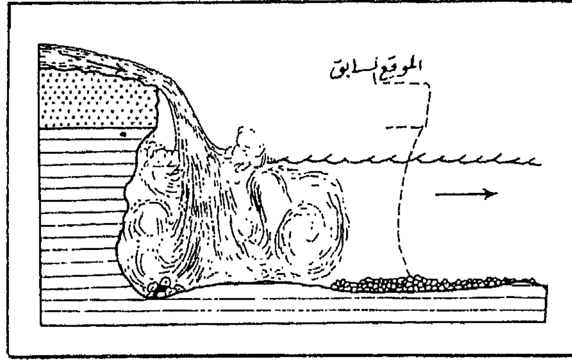
تفصل الأحواض المجاورة. وعلى مرور الزمن تتغير المعالم الجبلية تماماً. إذ تصبح المناطق التي كانت في أول الأمر جبالاً مرتفعة ـ تصبح هضاباً منخفضة أو سهولاً مرتفعة، كما تصبح السلاسل الجبلية الطولية، عبارة عن مجموعة من الهضاب المتقطعة، فصلتها عن بعضها الوديان والمجاري النهرية العليا. وبعبارة أخرى تتآكل المرتفعات ـ خاصة بمناطق المنابع ـ فيتدنى مع الزمن منسوبها، فالأنهار إذن من أكبر العوامل في تسوية تضاريس سطح الأرض (شكل رقم: ١٠ ـ ٦).

وتتمثل أهم المظاهر الناتجة عن النحت النهري في: (١) الخوانق، وهي الأجزاء الضيقة العميقة من المجرى ذات الجدران الصخرية الشديدة الانحدار؛ (٢) الشلالات والجنادل، ترجع الشلالات إلى اختلاف صلابة الصخور،



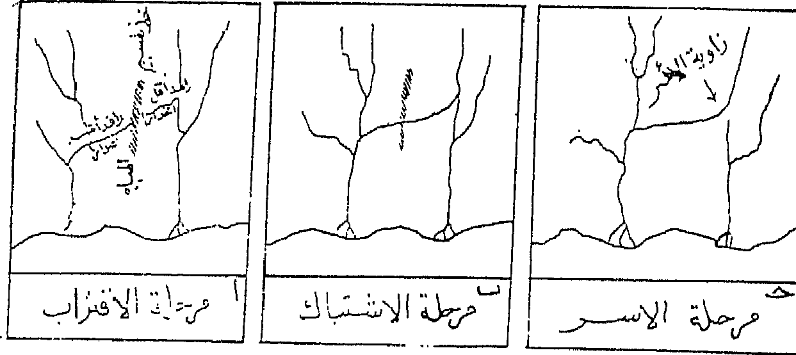
(شكل رقم: ١٠ ـ ٦) تطور نحت كتلة أرضية بالمياه الجارية

فالصخور التي يخترقها النهر تتفاوت في صلابتها فإذا كانت الطبقات العليا صلبة والطبقة السفلى لينة هشة، فإن النهر يفتت الطبقة السفلى بينما تبقى الطبقة العليا معلقة لا تجد ما يدعمها من أسفل فتنهار في المجرى وتتكسر وتحملها المياه بعيداً، وينحدر الماء من أعلى مكوناً مسقطاً مائياً أو شلالاً (شكل رقم: ١١ ـ ٦). أما الجنادل فتنشأ من جريان الأنهار فوق صخور رسوبية قليلة السمك وتحتها صخور نارية جرانيتية صلبة تظهر في المجرى بعد نحت الصخور اللينة؛ (٣) الأسر النهري، وهو عمل من أعمال النحت النهري في المجاري العليا للأنهار، حيث يقترب منبعا نهرين في مناطق المرتفعات الفاصلة بين حوض نهرين (خط تقسيم المياه) فينحت كل نهر مجراه حتى يقترب منبعاهما فيشتبك النهران ويستولي النهر الأقوى والأشد انحداراً والأغزر ماء على مياه النهر الأضعف تياراً وماءً، أي أن النهر الأقوى يستولي على رافد النهر الآخر نتيجة



(شكل رقم: ١١ ـ ٦) التراجع الخلفي للشلال بفعل النحت النهري

تراجع منبعه لقوة النحت في منطقة خط تقسيم المياه (شكل رقم: ١٢ ـ ٦).

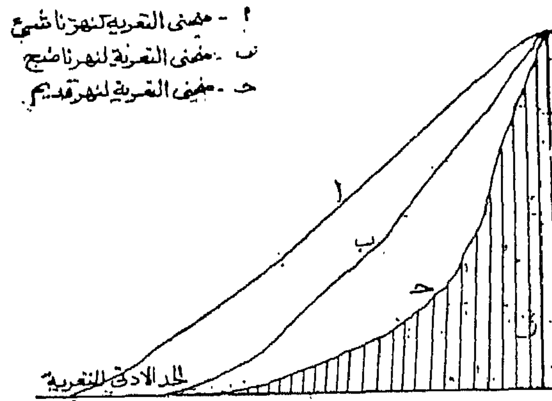


(شكل رقم: ١٢ ـ ٦) مراحل حدوث ظاهرة الأسر النهري

هذا ويمكن توضيح عملية النحت للأنهار برسم قطاعات تبين درجات انحدار النهر في مراحله المختلفة ولبيان مقدار انحدار النهر نرسم قطاعات مثل

القطاع الطولي للنهر وهو خط منحنى يمثل درجة انحدار مجرى النهر من المنبع إلى المصب وهذا الخط المنحني يسمى منحنى التعرية ويلاحظ أن القطاع الطولي في المجرى الأعلى يزداد في الإنحدار وفي المجرى الأسفل يزداد استواءً والسبب في ذلك أن النهر يخفض مجراه في المجرى الأسفل أكثر لكثرة مياهه وكثرة رواسبه فيخفضه بسرعة إلى الحد الأدنى للتعرية. وهو المستوى الذي لا يمكن للنهر أن يعمق مجراه فيه أكثر مما عمق، فمثلاً الأنهار التي تصب في البحر كالنيل يكون الحد الأدنى للنحت أو التعرية هو مستوى سطح البحر فإذا بلغ مجرى النهر هذا المستوى ينقطع عمله في النحت، والقطاع الطولي لنهر ناشىء يكون شديد الانحدار كما في المنحنى (أ) في الشكل (رقم: ١٣ ـ ٦) والمنحنى النهري لنهر ناضج يكون في المستوى (ب) أما النهر القديم فإن منحنى التعرية يكون قد انخفض كما في (ج).

والمواد التي تلتقطها مياه النهر من مجراه مباشرة، أو تلك التي تجلبها روافده، أو التي يفتتها في جوانبه، بالإضافة إلى المواد التي تغسلها مياه



(شكل رقم: ١٣ ـ ٦) القطاعات الطولية للأنهار

الأنهار، والتدفقات من جوانب المنحدرات بحكم الجاذبية الأرضية، تكون فيما بينها ما يعرف باسم حمولة النهر، وتختلف حمولة النهر بين مواد ذائبة، ومواد غير ذائبة. ومن أكثر الصخور قابلية للذوبان هو الحجر الجيري الذي يشتمل على كثير من العناصر التي تذوب بسهولة، أما المواد غير الذائبة فيجمعها النهر من الصخور التي يجري على سطحها والتي يدفعها التيار ويحطمها ثم ينقلها من مكان لآخر. ولا بد بالطبع أن تتفاوت هذه المواد الصلبة غير الذائبة التي يحملها النهر في الحجم، فمنها ما هو عبارة عن ذرات دقيقة من الصلصال والطين ومنها ما هو رملي، وهناك أيضاً الحصى والحصباء، وهي قطع من الصخر الأكبر حجماً، أو الصخور الصلبة الكبيرة. وتختلف كمياه وأنواع المواد التي ينقلها النهر في منابعه العليا حيث قوة تدفقه عظيمة.

وتتفاوت قدرة مياه النهر في نقل رواسبها: فمثلاً يستطيع النهر أن يحمل ذرات الطين أو الرمل الدقيق بسهولة حتى المصب، بينما لا يستطيع النهر أن يحمل حمولته من الحصى إلا لمسافات قليلة، وحينما يكون تياره قوياً. أما الرواسب الكبيرة الحجم عن ذلك فلا يستطيع النهر حملها، بل يدفعها دفعاً في مجراه، وطبيعي أن تكون سرعة اندفاع هذه الأحجار متوقفة على سرعة التيار من ناحية على شكلها وحجمها من ناحية أخرى. وبمعنى آخر تزداد قدرة المجرى المائي على النقل إذا زادت سرعة الجريان وعلى حجم الحبيبات. وطبقاً لرأي جيكي Geiki فإذا كانت سرعة المجرى المائي ٢٦٠ متر (١/٦ ميل) في الساعة فإنه لا يستطيع أن يحمل أكثر من الطحن الناعم، وإذا كانت سرعته ٤٠٠ متر (١/٤ ميل) في الساعة فإنه يستطيع حمل الرمل الناعم، وإذا كانت سرعته ٨٠٠ متر (١/٢ ميل) في الساعة فإنه يحمل الرمل الخشن، وإذا كانت سرعته ١٠٥٠ متر (١/٣ ميل) في الساعة فإنه يحمل الحصى الناعم، وإذا كانت سرعته ٢٥٠٠ متر (١/١٢ ميل) في الساعة فإنه يحمل الحصى الذي يبلغ قطر خمسة سنتيمترات. فالعلاقة إذن مضطردة بين سرعة مياه النهر وبين حجم الحبيبات. وهنا يجدر الإشارة بأنه نظراً لكثرة ما يعتري رواسب النهر من الدفع

والجر، فأنها عادة تتخذ الشكل المستدير، بعد أن تتحطم زواياها وأركانها. كما يلاحظ أن أي مجرى نهري لا يستطيع أن ينقل حمولة تزيد عن طاقته أو تعادلها تماماً، بل الغالب أن يحمل النهر كمية من المواد دون طاقته، وينقل النهر حمولته بالوسائل التالية: (١) السحب أو الجر: Traction وذلك بالنسبة للكتل الكبيرة من المفتتات الصخرية التي لا يمكن تبعاً لثقلها أن تبقى عالقة بالماء، لذلك فإن قوة دفع وتدافع تيارات الماء في القناة النهرية تعمل على سحبها معها، بحيث تظل هذه المواد معظم الوقت ملامسة لقاع المجرى. ومن هنا فإن الأنهار السريعة الجريان ـ مثل نهر كلورادو ـ القدرة على سحب جلاميد ضخمة، كما أن الكثير من الأودية الجافة في الجهات الصحراوية التي تتميز بشدة انحدارها وعنفها عند سقوط الأمطار الإعصارية المفاجئة القدرة على سحب ودحرجة جلاميد من الصخر، قد تزن الواحدة منها بضعة أطنان؛ (٢) التعلق Suspension، ويرتبط بها تعلق المواد الصخرية الدقيقة الجزئيات من الرمل الناعم والغرين والطين تعلقاً مؤقتاً بمياه النهر، ويتم نقلها على هذا النحو لمسافات طويلة حتى تصل إلى المصب، خاصة في أوقات الفيضان؛ (٣) الطفو Flotation، وهذه الوسيلة من وسائل نقل المواد المفتتة ذات أهمية محدودة، إذ تقتصر على طفو المواد غير العضوية القليلة الكثافة فوق سطح الماء. ونقلها لمسافات طويلة وبعيدة عن مصادرها؛ (٤) الإذابة Solution، إذ أن جزءً كبيراً من حمولة مياه النهر من المواد المفتتة كثيراً ما يكون في صورة مواد مذابة (بعض عناصر المعادن الصخرية القابلة للذوبان في الماء) تصبح جزءً من مياه النهر بحيث تستنفد قسطاً من طاقته في حملها ونقلها، بمعنى أن زيادة كمية هذه المواد تقلل من قدرة النهر على التحمل بالشوائب، وقد تكون المواد المذابة على شكل أحماض عضوية نتيجة لتحلل مخلفات الغطاء النباتي في حوض النهر، أو قد تكون مواد كلسية إذا جرى النهر فوق مناطق تكوينات الحجر الجيري، ولذلك فإن مياه الأنهار رغم عذوبتها إلا أنها جميعاً وبلا استثناء تشتمل على كميات متفاوتة من المواد المذابة. وقد قدر أن كمية المواد المذابة

التي تحملها أنهار العالم جميعها ما يقرب من ثلاثة مليارات من الأطنان إلى المحيط كل عام.

الارساب النهري

إذا قل انحدار النهر بدرجة كبيرة أو اتسع مجراه، فيضعف التيار، أو كان هناك انحناء أو انعطاف في مجرى النهر ينتج عنه اعتراض أحد ضفاف النهر للتيار، فتضعف سرعة النهر، أو إذا نقص مقدار الماء في النهر بالتبخر أو بالتسرب فإن الظروف تصبح ملائمة لعمليات الارساب. وبعبارة أخرى عندما يفقد تيار النهر السرعة اللازمة لتحريك حمولته من الرواسب في أية بقعة من مجراه، فإنه سرعان ما يتخلص من جزء من حمولته. وطبيعي أن النهر لا يلقى في أول مراحل الارساب سوى المواد الخشنة وهي الحصى والحصباء، وبتضاؤل السرعة بعد ذلك يضطر لإلقاء المواد الأصغر حجماً ثم المواد الدقيقة كالغرين كلما تباطأ التيار أكثر فأكثر، حتى ترسب أخيراً المواد الناعمة العالقة بالماء عند نهاية المطاف قرب المصب، بمعنى آخر تصنف الرواسب النهرية حسب الأحجام، تبعاً لتناقص سرعة التيار. وتتكون ظاهرات جيومورفولوجية نتيجة عملية الارساب تتمثل في السهول الفيضية والجزر النهرية والبحيرات المتقطعة والدالات. ومظاهر عمليات الارساب هذه تساعد عليها عوامل وظروف متعددة.

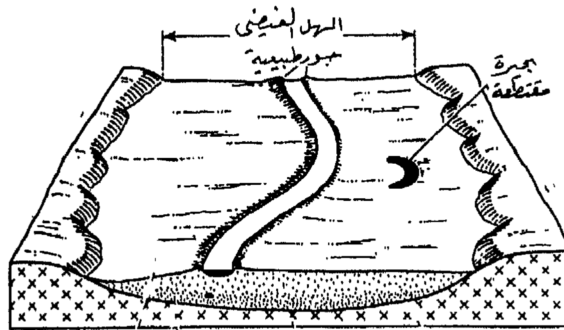
(١) السهول الفيضية Flood Plains.

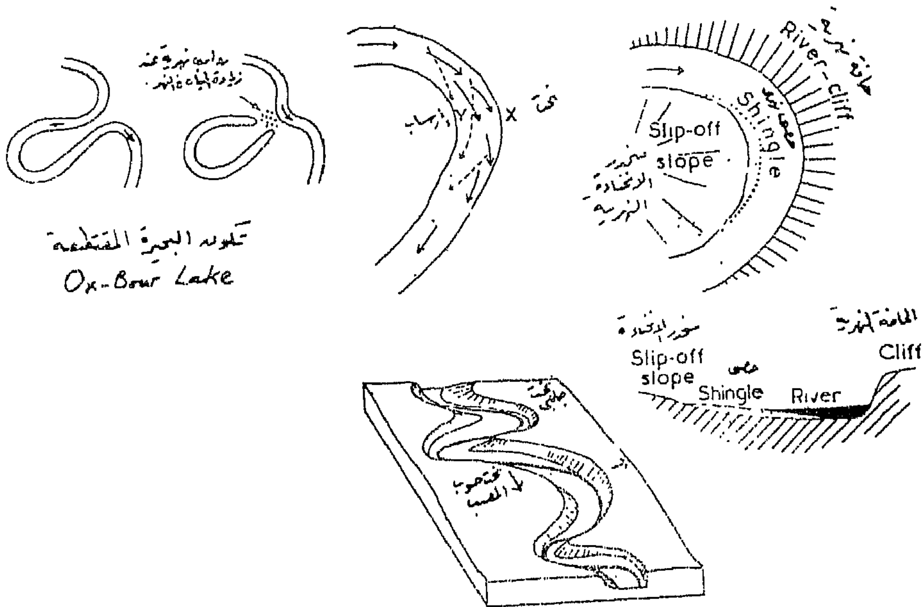
إذا كانت هناك فرصة كبيرة أمام النهر استطاع أن يكون سهولاً فيضية على طول مجراه. وتتكون هذه الظاهرة عندما يدهل النهر مرحلة النضوج حيث يتسع بطن واديه بفضل منعطفات قناته المائية التي تكثر بسبب جريانه على سطح غير مستوي ـ والتي تدفع بضفافه أو جوانبه بعيداً (شكل رقم: ١٤ ـ ٦)، حيث

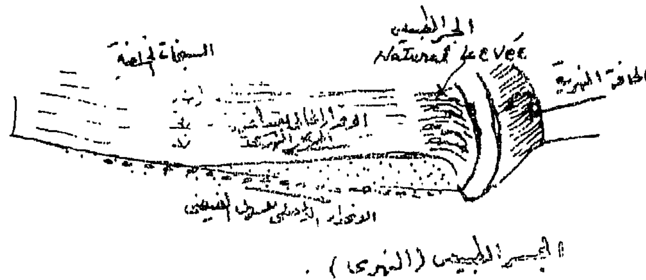
تساعد هذه المنعطفات على اندفاع تيار النهر بكل قوته نحو أحد جانبي النهر، وفي هذا الجانب يعظم عنده التعرية والنحت، بينما يكون الجانب الآخر منطقة إرساب، لضعف حركة المياه عنده فتلقى المياه هناك بعض ما تحمله من رواسب. والنتيجة أن ينفسح المجال لنشأة أسطح منشوية متزايدة المساحة على كلا الجانبين، هذه الأسطح سرعان ما تصبح عرضة لتلقي الرواسب في أوقات الفيضان عندما تتخطى مياه النهر مجراه، فتغمر هذه الأسطح المستوية على الجانبين، وتنشر فوقها غلالات من الرواسب الفيضية، يزداد سمكها عام بعد عام، ويتكون من هذا سهل مستطيل يسمى بالسهل الفيضي أو السهل الرسوبي Alluvial Plain (شكل رقم: ١٤ ـ ٦)، كالسهل الرسوبي في دلتا النيل والمسيسيبي والفولجا والبو، وكذلك السهول الرسوبية في الجزء الأدنى من النهر حيث يملأ النهر واديه المتسع الذي حفره بمياه الفيضان المحملة بالطمى، كما هي الحال في الجزء الأدنى من وادي النيل من أسوان إلى القاهرة. وأشهر السهول الخصبة في العالم نشأت من تراكم رواسب نهرية. كذلك تتكون جزر رسوبية حيث ترتفع رواسب النهر وتبلغ حجماً كبيراً مثل جزيرة الروضة في مجرى نهر النيل عند القاهرة.

(٢) البحيرات المتقطعة Ox Bow Lakes

تنشأ هذه البحيرات في الجزء الأدنى من النهر حيث يكون المجرى كثير المنعطفات نتيجة لعمليات النحت والارساب التي تتعرض لها جوانبه، فتيار النهر يكون أسرع في الأجزاء المقعرة منها في الأجزاء المحدبة من المنعطفات، فيكون هناك نحت في الأجزاء المقعرة وإرساب في الأجزاء المحدبة، وهكذا حتى تقترب أطراف المنعطفات بعضها من بعض إلى أن تتصل هذه الأطراف في النهاية، وتفتح طريقاً جديداً قصيراً تجري فيه مياه النهر. وبعد مدة يتكون سد رسوبي يفصل المجرى المنحنى القديم عن المجرى الجديد، فيبدو الجزء المنفصل على شكل بحيرة مقوسة هلالية الشكل (شكل رقم: ١٤ ـ ٦).







(شكل رقم: ١٤ ـ ٦) مظاهر عمليات الارساب النهري

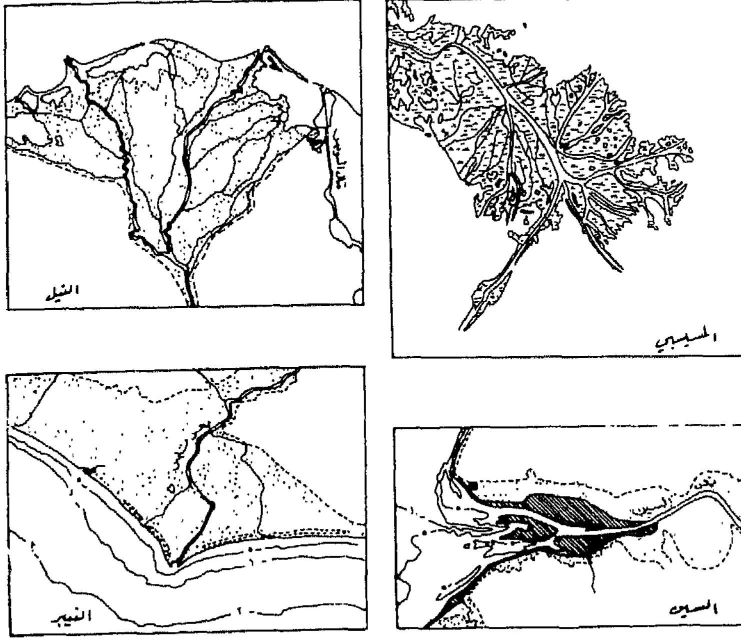
(٣) الدالات Deltas

تتكـون الـدالات وتنمـو عنـد مصـاب الأنهـار علـى حسـاب البحـار أو المحيطات. ويتوقف نمو الدالات وتكوينها على العوامل الآتية: عمق المنطقة الشاطئية التي يصب فيها النهر وعلى مقدار المواد المفتتة التي يأتي بها النهر، ثم هناك قوة الأمواج والتيارات الساحلية التي تؤثر بغير شك فيما يتجمع في المنطقة الشاطئية من رواسب. ولكل هذه العوامل، هناك بعض الدلتاوات التي تتقدم في البحر بدرجة سريعة، فدلتا نهر المسيسيبي مثلاً تتقدم في خليج المكسيك حوالي ٨٥ متراً كل عام، أما دلتا النيل ـ قبل بناء السد العالي ـ، وكذلك دلتا نهر الدانوب فتتقدمان في البحر بدرجة واحدة تقريباً، بمعدل أربعة أمتار في العام.

ولقد استطاع نهر النيل، مثلاً على مدى عصور طويلة أن يكون لنفسه سهلاً مثلث الشكل عند مصباته، اقتطعه من مياه البحر المتوسط وفرشه بطبقات من طميه، أطلق عليه الأغريق اسم دلتا، نظراً لتشابه الشكل العام لهذا الشكل مع الحرف الإغريقي دلتا ، الذي أصبح يطلق على جميع الحالات المشابهة، أي أن الدلتا المثالية عبارة عن سهل مثلث الشكل، قاعدته نحو مياه البحر أو البحيرة، ورأسه صاعد عكس تيار النهر.

والدالات على أنواع، من أشهرها النوع المثلث المروحي الشكل، الذي تمثله دلتا النيل الشهيرة خير تمثيل، ومنها ما يشبه قدم الطائر مثل نهر المسيسيبي، وهي دلتا مركبة من عدد من الدالات الصغرى عند كل مصب، ومن الدالات أيضاً ما ينشأ في مصبات خليجية، ومن ثم فأن أشكالها تتحدد بأشكال الخلجان التي تنشأ بها، ومن أمثلة ذلك دلتا نهر السين الصغير بمصبه الخليجي في القنال الانجليزي. وأحياناً قد تنشأ الدالات بمناطق تتميز باستقامة السواحل المفتوحة على البحار، ومن ثم تصبح رواسبها عرضة لهجوم شديد من قبل الأمواج والتيارات التي تبعثرها على كلا جانبي المصب، فتتخذ قاعدة الدلتا في هذه الحالة شكل قوسين يتقاطعان أمام المصب الرئيسي، وتسمى لذلك بالدال

الحدباء، كما هو الحال في نهر التيبر (شكل رقم: ١٥ ـ ٦). وهناك نوع من الدلات يعرف باسم الدلات المروحية الذي ينشأ في حالة إذا خرج النهر من



(شكل رقم: ١٥ ـ ٦) أنواع الدالات

منطقة جبلية شديدة الانحدار إلى أرض متسعة منبسطة، فإن هذا التغير الفجائي في درجة الانحدار يؤدي إلى أن يلقى النهر بحمولته من المواد المفتتة عند مخرجه من المنطقة الجبلية، فتبدو هذه المواد الرسوبية على شكل مروحة رأسها متجه نحو النقطة التي تخرج منها مياه النهر. وهذه الدلات كونتها الأنهار على اليابس بدلاً من أن تكونها في المنطقة الساحلية. ومن أمثلة هذا النوع من الدلات دلتا خور الجاش.

الأمـــواج

تؤثر الأمواج تأثيراً ظاهراً في السواحل التي ترتطم بها، خاصة تلك التي تنفتح على البحار الكبرى والمحيطات. فالأمواج عندما تتحطم على صخور الساحل فإن ضغط الماء الذي تدفعه الأمواج في شقوق الصخور أو فجواتها، فضلاً عن الهواء المحتبس معه، يحدث عنه قوة كبيرة تؤدي إلى تفكك الصخور وأجزائها وتحللها بتأثير الماء نفسه. وقد يبلغ هذا الضغط آلاف الأطنان على المتر المربع الواحد من السطح. وفضلاً عن ضربات المياه فإن تأثير الجو في صخور الساحل يفككها فيساعد بذلك الأمواج على عملها، فالصخور التي فتتها التجوية تستخدمها الأمواج كمعاول أو كمطارق يتوالى وقعها على صخور الساحل فتتحطم وتنهار. كما تحصل الأمواج على كثير من المواد المفتتة التي تأتي بها مياه الأنهار كالحصى والرمال.

ويساعد الأمواج في عملها نوع الصخور التي تتكون منها الجروف الصخرية الساحلية، فالصخور الهشة تتآكل بسرعة وتظل أجزاؤها الصلبة بارزة، وتقوم الشقوق والمفاصل بالصخر كذلك بدور هام من شأنه أن يزيد من تأثير الأمواج، على أن أنشط الأمواج في عملها التأثيري على صخور الساحل هي ما كان عمودياً على خط الساحل، بعكس الأمواج التي تصل الساحل بزاوية ميل كبيرة فإنها تكون قليلة الفعالية في هذا الميدان. وهنا تجدر الإشارة إلى أن أثر الأمواج يظهر في السواحل الصخرية المرتفعة التي ترتطم بها، أما إذا كانت السواحل منخفضة أو مسطحة فإن الأمواج لا ترتطم بحاجز صخري وبذلك تضيع قوتها في الهواء ويكاد يقتصر عملها هنا على الارساب.

النحت والنقل بالأمواج

يعد تأثير الأمواج كعامل نحت أهم بكثير من أثر التيارات البحرية.

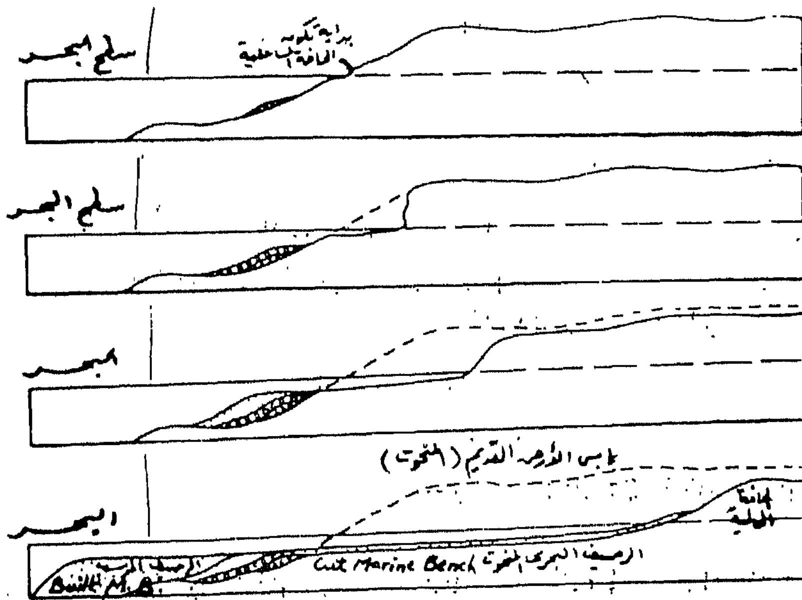
وعندما تتكسر الأمواج على الساحل فأنها تلقي إلى الأمام بكميات كبيرة من المياه Swash تصل إلى الشاطىء ثم تعود مرة أخرى إلى الوراء Backwash. وفي هاتين الحركتين تستطيع المياه القيام بعمليات نحت في منطقة الساحل. ويتم النحت بواسطة قوة حركة وضغط المياه وبواسطة المواد التي تحملها المياه من رمال وحصى، وهي مواد تنحتها في بادىء الأمر من الساحل نفسه. وقد تصل قوة الأمواج إلى ١٠ طن في المتر المربع، وهذه القوة كافية لتحريك كتل كبيرة من الصخور. وتؤدي الحركة الخلفية أو العكسية للأمواج إلى تحريك مفتتات الصخور إلى داخل الماء حيث تحملها الأمواج المتقدمة نحو الشاطىء مرة أخرى. وهكذا تتكرر هذه العملية، وتؤدي هذه العملية إلى نحت الأجزاء البارزة من الساحل ويذلك تقلل من مساحة اليابس كما تعمل على استقامة السواحل.

وأهم ما تحدثه الأمواج من ظاهرات النحت ما يأتي:

(١) الجروف (الحافات) الساحلية Coastal Cliffs

تعد الجروف أو الحافات الساحلية من أوضح ظاهرات النحت البحرية التي تقوم بها الأمواج، كما تعد هذه الظاهرة في المناطق الساحلية الناتجة عن عمليات طغيان البحر أو السواحل الناتجة عن انحسار مياه البحر ظاهرة تدل على مرحلة الشباب في خط الساحل. وتجدر الإشارة هنا إلى أن ظاهرة الجروف أو الحافات الساحلية قد تعطى إحساساً أنها لا بد وأن تكون متكونة من صخور صلبة، ولكن يختلف الصخر الذي تتكون منه في الأجزاء المختلفة من العالم حسب ظروف عوامل التعرية الأخرى التي تعمل على يابس الأرض المجاورة. ففي بعض الجهات الساحلية نجد هناك جروفاً ساحلية تتكون على ركامات جليدية وأخرى على إرسابات رملية كانت حواجز بحرية. ولكن بصفة عامة فالحافة تعد من الظاهرات الساحلية الواضحة الشديدة الانحدار نسبياً أي بالنسبة للأجزاء التي تعلوها والأجزاء التي توجد عند أقدامها. وتنشأ الحافات الساحلية

بواسطة نحت الأمواج التي تنكسر على يابس الأرض لأن حركة المياه أقوى من اتساع الحوض البحري، وهذا يعطي للأمواج مقدرة على الارتطام بيابس الأرض، وقوة الارتطام هذه تؤثر بواسطة الضغط وبواسطة العمليات الكيميائية Corrasion على طول خط ارتطام الأمواج بيابس الأرض، فيظهر حد لفعل الأمواج على طول طول خط الساحل نتيجة عملية نحت الأمواج، وتأخذ الأمواج وهي راجعة الفتات الناتج عن الارتطام بخط الساحل. وطالما ظلت هذه المنطقة في متناول الأمواج فإن الأمواج تعمل فيها باستمرار فتتأثر المنطقة الساحلية بالتراجع خلفياً نحو اليابس، كما أن الأمواج في هذه المنطقة تكون هي الأخررى قادرة على النحت رأسياً في المنطقة البحرية التي تقع قبالة الحافة الحديثة النشأة التي تكون على حساب السهل الساحلي أو الرف القاري المنكشف، ويستمر نمو هذه الحافة تدريجياً بتراجعها صوب اليابس وبالتالي تزداد ضحولة المياه أمامها ويقل بالتدريج فعل الأمواج حتى تصبح الحافة بعد ذلك بعيدة عن متناول أمواج البحر (شكل رقم: ١٦ ـ ٦).



(شكل رقم: ١٦ـ٦) تكوين وتراجع الجروف (الحافات) الساحلية، وتكوين الرصيف البحري

(٢) الرصيف البحري

يؤدي ضغط المياه نتيجة ارتطام الأمواج إلى ضغط الهواء في ثنايا الصخر ـ كما ذكرنا ـ وعندما ترجع الموجة تكون هناك عملية سحب لهذا الهواء وبذلك نجد أن النتيجة هو نمو الجروف الساحلية من ناحية ثم تأثيره على التكوينات الصخرية التي تعلوه من ناحية أخرى بسبب انضغاط الهواء وتسرب بعض المياه البحرية خلال الشقوق التي توجد في هذا الصخر. ومن هنا نجد أنه في هذه المنطقة تظهر عملية الانهيارات الأرضية نتيجة تفريغ التكوين الصخري الذي يقع في متناول الأمواج، ثم تتعرض الصخور المنهارة مباشرة لارتطام المياه فتعمل فيها ميكانيكياً وكيميائياً وتحملها لتبني بها نتيجة إرسابها على منحدر الرف القاري. وبتكرار هذه العملية تنشأ ظاهرة الرصيف أو المدرج البحري Marine Bench والذي ينمو صوب اليابس بفعل النحت وصوب البحر بفعل الارساب، أي الرصيف أو المدرج البحري المنحوت Marine - Cut Bench والرصيف أو المدرج البحري المبني Marine - Built Bench.

(٣) الفجوات القاعدية Blow holes

تنشأ هذه الظاهرة نتيجة لضرب الأمواج قواعد الجروف الصخرية الساخلية فتتراجع في مراحل، حتى تصبح الفجوة من العمق بدرجة معها الصخور التي تعلوها عن مقاومة قوى الجذب فتسقط، ويتراجع الساحل الصخري في نوبات متتابعة بتأثير هذه العملية، وتتقدم في أعقابه مياه البحر ليستمر عمل الأمواج من جديد، لكي ينشأ في النهاية رصيف نحت مستوٍ بمحاذاة الشاطىء.

(٤) الكهوف البحرية Caves

تتكون الكهوف البحرية في المنطقة الصخرية التي تلامسها مياه البحر وعلى طول خطوط الضعف الصخري ـ خطوط الانكسارات بنظمها المختلفة ـ

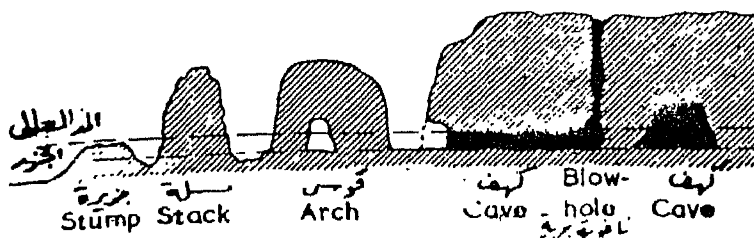
حيث تكثر المفاصل الرأسية في الصخور، وحيث تهب على الشاطىء العواصف والأنواء فتقوى الأمواج التي تعمل على تجويف الكهوف بفعل ضربات الأمواج في التكوينات الصخرية اللينة أو الرخوة. وأحياناً تتكون الكهوف فوق مستوى الماء، كما أنها في أحيان أخرى تنشأ تحته، وتواجه فتحات الكهوف مياه البحر، في حين تتعمق فجواتها داخل اليابس. وإذا كانت الكهوف متقابلة لا تلبث باستمرار عملية نموها أن تلتقي ويتصل الكهفان وتتصل عبرهما مياه البحر على جانبي الأرض اليابسة. وتنتشر الكهوف البحرية في المناطق الساحلية ذات التكوين الصخري الجيري كما في بعض سواحل لبنان وإيطاليا وبخاصة في منطقة سهل دالماشيا في يوغوسلافيا.

(٥) الأقواس البحرية Sea Arches

تتكون الأقواس البحرية عندما تبرز ألسنة من الصخر في مياه البحر، تضربها الأمواج من الجانبين فتودي إلى فجوتين قاعدتين متقابلتين في كل بروز من هذه البروزات، كما أنها تتكون بنمو الكهوف البحرية أفقياً ورأسياً، فتتواصل الكهوف، ويبقى القسم العلوي معلقاً على الفجوة النافذة ومن ثم يتشكل القوس البحري (شكل رقم: ١٧ ـ ٦). وتصبح منطقة الأقواس البحرية من المناطق الضعيفة خاصة إذا كانت التكوينات الصخرية تكوينات جيرية، وإذا كانت الظروف المناخية السائدة في تلك المناطق الساخلية نظيرة فتؤدي إلى تهدم هذه الأقواس، وتنفصل كتلة من يابس الأرض كانت مرتبطة بجسم الأرض عن طريق هذه الأقواس مكونة جزيرة ساحلية. ولا يلبث أن تتكرر هذه العملية في جزر آخر من المنطقة الساحلية أو في نفس المنطقة بأن يتكون كهفين متقابلين ثم قوس بحري ثم انفصال فتكون جزيرة جديدة Offshore Island.

(٦) المسلات البحرية Sea Stacks

تتعرض الجزر الساحلية القديمة لفعل مياه البحر على خطوط ضعفها







(شكل رقم: ١٧ ـ٦) ظاهرات النحت البحري

فتنفصل إلى سلات بحرية، كما أنه باستمرار فعل الأمواج في مناطق الأقواس البحرية تضعف وترق أسقف الأقواس، وتتسع الفجوة من تحتها، فلا تلبث أن تنهار الأسقف مخلفة تجاه البحر عموداً من الصخر يبدو كمسلة قاعدتها عريضة متآكلة ورأسها مدبب مسنن (شكل رقم: ١٧ ـ ٦). وتتأثر هذه المسلات البحرية بنحت الأمواج فيسقط بعضها وتتآكل ميكانيكياً وكيميائياً في الوقت الذي تتحول فيه بعض الجزر الحديثة إلى مسلات جديدة. وتعد مناطق بقايا المسلات البحرية مناطق ضحلة نسبياً على الرصيف البحري، فتشير بذلك إلى مواقع الحافات الساحلية القديمة، كما توضحها تكسر الأمواج عليها وتظهر في صورة خط أبيض من الزبد البحري.

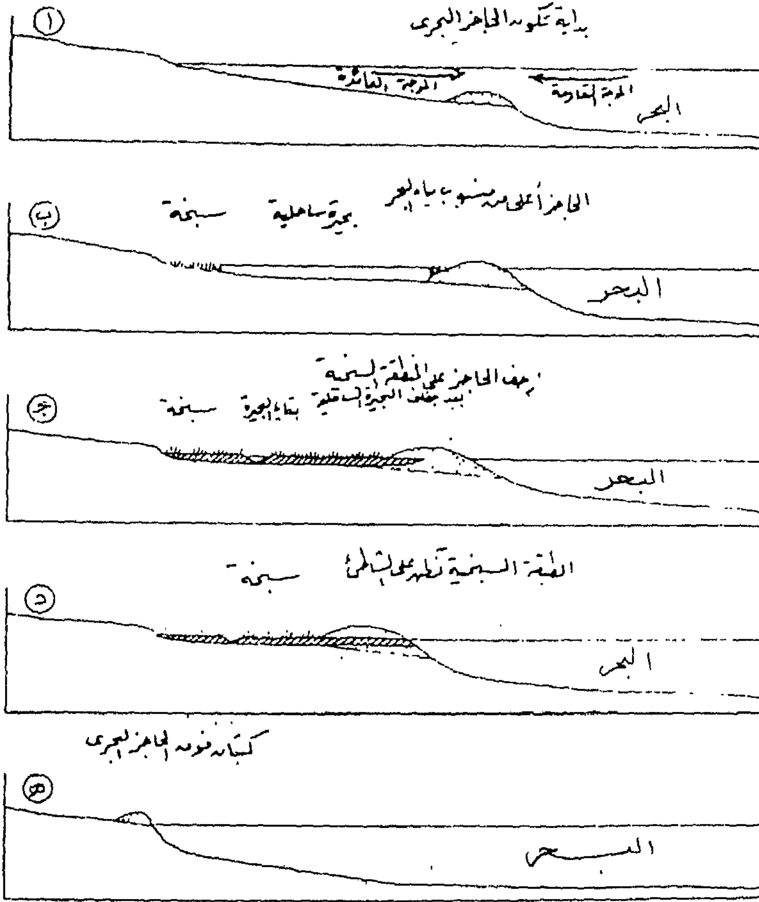
الارساب

تقوم الأمواج بإرساب المواد التي تنحتها، عند زيادة عنفها على الجهات البارزة كرؤوس صخرية في مياه البحر، في المناطق الغائرة التي تشكل الخلجان، عندما تضعف وتتوزع طاقتها، فتساعد بذلك على امتلاء الخلجان بالرواسب. ولما كانت الأمواج لا تصل إلى الأعماق البعيدة في الماء، فإن إرساب الأمواج لا يصل تأثيره بالتالي إلى هذه الأعماق، كما أن الكميات الهائلة من المواد التي تنتزعها الأمواج من السواحل الصخرية كثيرة الشقوق والمفاصل والفجوات، تظل تتحرك مع حركة الأمواج فإذا ما زادت حمولة الأمواج من هذه المواد عن طاقتها أرسب قسماً منها كأشرطة طولية من المواد الخشنة بمحاذاة الساحل، فتعرف لذلك باسم الشواطىء الحصباوية Shingle beaches، وهي مواد يتعذر على الأمواج الضعيفة الهادئة بلوغها أو سحبها إلى البحر مرة أخرى بعد تراكها على الشاطىء. أما الخلجان فأنها نتيجة حمايتها من الأمواج القوية العاتية، تصبح لذلك بيئة إرسابية تلقى بها وعلى جوانبها المواد الدقيقة من الرمال، أكثر الإرسابات البحرية انتشاراً، على شكل هلال، وأحياناً أخرى تضع الأمواج حمولتها في مدخل الخليج قبل أن تبلغ الساحل. وفيما يلي حصر لأهم

خصائص ظواهر الارساب بواسطة الأمواج والتي تتمثل في الحواجز البحرية والبحيرات الساحلية، والرصيف البحري والألسنة الساحلية.

(١) الحواجز البحرية Marine Bars والبحيرات الساحلية Lagoons

يبدأ تكوين الحواجز البحرية أمام الجروف الساحلية وعلى الرف القاري نتيجة إرساب الأمواج لما تحمله من فتات، وذلك لتقابل الموجات العائدة إلى البحر والموجات الآتية من منه صوب يابس الأرض. وعلى طول خط تقابل هذه الأمواج تنشط عملية الارساب بسبب ضعف الأمواج وقلة مقدرتها على حمل هذا الفتات فتترسب على قاع الرف القاري، وباستمرار هذه العملية ينمو هذا الحاجز تدريجياً حتى يصبح أعلى من منسوب سطح البحر، وذلك نتيجة لوصول الموجة إلى أقصى ارتفاعها في فترات هبوب الرياح القوية. ويحدث في فصل الشتاء هبوب الرياح العاتية. الأمر الذي يحدث معه اكتمال منسوب موجات البحر، بمعنى أن الموجات الآتية والعائدة سيكون منسوبها في هذا الفصل أعلى من منسوبها في بقية فصول السنة فيصل الترسيب إلى هذا المنسوب، وعندما تحل الفصول الأخرى من السنة يبدو هذا الحاجز أعلى من منسوب سطح البحر، وفي فترة ظهوره كأرض يابسة تنمو على هذا الحاجز بعض النباتات والتي تعمل على تثبت رماله، كما تعمل على اصطياد كثير من الرمال التي تحملها الرياح، التي تهب على تلك المناطق الساحلية، وباستمرار هذه العملية يرتفع منسوب الحاجز تدريجياً حتى يصبح في وقت من الأوقات قادراً على حجز مياه البحر في أي فصل من فصول السنة وإيقافها عن الطغيان على الأرض أو على المناطق التي تقع خلف هذا الحاجز ناحية يابس الأرض. أو بمعنى آخر حجز جزء من مياه البحر عن جسم البحر كله وهذا الجزء هو الذي يطلق عليه تعبير البحيرة الساحلية Lgoon (شكل رقم: ١٨ ـ ٦).



(شكل رقم: ١٨ ـ ٦) مراحل تكون الحاجز البحري والبحيرة الساحلية

ويتأثر الحاجز بفعل المياه من كلا الجانبين، جانب يابس الأرض تعمل فيه مياه البحيرة الساحلية والجانب المواجه للبحر وهو الذي تعمل فيه مياه البحر نفسها. ويصبح هذا الحاجز من ناحية البحر في صورة حافة بحرية يستمد البحر من تكويناتها حمولته ويبدأ في تكوين سلسلة ساحلية أخرى على بعد من تلك السلسلة صوب البحر ويرسبها على الرف القاري.

أما البحيرة الساحلية فتكون متأثرة بالظروف المناخية التي تسود تلك المنطقة الساحلية فإذا كانت منطقة تنصرف إليها مياه نهرية ساعدت على اطماء هذه البحيرة تدريجياً، وإذا كانت ظروفها المناخية تتصف بالجفاف فإن عملية التبخر ونمو بعض النباتات البحيرية وترسبات الرياح كلها عوامل تساعد على انخفا منسوب البحيرة وضيق مساحتها تدريجياً. وإذا ما تكون حاجز بحري أمام الحاجز الأول أصبحت هذه البحيرة بعيدة كل البعد عن إمكانية تأثير مياه البحر عليها وتزداد فيها عملية الجفاف حتى تصبح منخفضاً تام الجفاف.

وإذا ما تكررت هذه الظاهرة ـ ظاهرة وجود البحيرات الساحلية والحواجز التي تفصلها وجفاف البحيرات ـ تظهر المناطق الساحلية في صورة متموجة من السلاسل أو الحواجز البحرية المتوازية التي تفصلها عن بعضها منخفضات قد تحتفظ هذه البحيرات بأجزاء من مياهها البحرية كما هو الحال في السلاسل التي توجد غرب مدينة الاسكندرية في منطقة مريوط.

(٣) الرصيف البحري الارسابي Marine - built Bench

تستخدم الأمواج المواد المفتتة في بناء الرصيف البحري الارسابي، ونتيجة لنمو هذا الرصيف نحتاً وإرساباً على حساب يابس الأرض وصوب البحر يقل عمق المياه الأمر الذي يؤدي إلى تكسر الأمواج قبل أن تصل إلى الحافة الساحلية ونتيجة لذلك يتكون الشاطىء Beach وتصبح الحافة الساحلية بعيدة عن متناول الأمواج ولكنها تصبح أكثر تأثراً بالظروف المناخية التي تسود في تلك المنطقة الساحلية. وتظهر الأرض بعد ذلك في صورة سهل ساحلي ممتد مموج السطح أجزاؤه العليا ترتبط بالحواجـز البحرية وأجزاؤه الحوضية تدل على أنها بقايا بحيرات ساحلية. ويتمثل هذا المظهر التضاريسي بوضوح في المنطقة غرب مدينة الاسكندرية في منطقة مريوط على الساحل الشمالي الغربي لمصر.

(٤) الألسنة البحرية Marine Spits

تكون الأمواج ألسنة ورؤوس أرضية إذا كانت الرياح تأتي من جهات مختلفة. وتحصر الألسنة التي تتخذ شكلاً منحنياً يشبه الخطاطيف Hooks مستنقعات بعد أن تحصر جزءاً من مياه البحر داخل انحناء الساحل.

المياه الباطنية

توجد المياه الباطنية تحت سطح الأرض على منسوب معين يعرف بمستوى الماء الباطني Underground water - table. ويختلف هذا المنسوب عمقاً من مكان إلى آخر. فيكون قريباً من سطح الأرض في المناطق الرطبة غزيرة الأمطار، والقريبة من البحار والأنهار، ويكن بعيداً عن سطح الأرض في الأقاليم الجافة. ويكاد يتمشى مستوى المياه الباطنية إلى حد كبير على شكل التضاريس التي يتكون منها سطح الأرض. وكثيراً ما يتقاطع هذا المنسوب مع سطح الأرض في المناطق المنخفضة كالأودية والمنخفضات فيصبح جزءً من هذا السطح تحت مستوى المياه الباطنية ومن هنا تنشأ المستنقعات والبطائح المائية Waterflats. وتنقسم الصخور على أساس علاقتها بحركة المياه الباطنية إلى نوعين رئيسين: نوع يسمح لها بالتسرب Permeable، بحيث تغور مياه الأمطار في باطن الأرض عن طريق الفراغات البنية التي توجد في جزئيات الصخر، أو خلال الشقوق والمفاصل والفجوات التي توجد به؛ ونوع لا يسمح بذلك وهو الصخور غير المنفذه للمياه Impermeable وذلك إما لأنها غير مسامية أو لعدم وجود الشقوق والمفاصل بها، أو لتعرض المياه التي توجد في الفراغات بين جزئياتها للتجمد مما لا يسمح بنفاذ الماء وتسربه. وتعرف الطبقة الصخرية التي تنفذ خلالها المياه والتي تستطيع اختزان هذه المياه إذا كانت ترتكز فوق طبقة أخرى غير منفذة لها بخزان المياه الجوفي Aquifer. ومع أننا كثيراً ما نلاحظ أن بعض الماء الذي تحتويه الطبقة المنفذة للمياه، يعود إلى سطح الأرض مرة ثانية بواسطة القوة الشعرية Capillery force (وخصوصاً في الأقاليم

الجافة)، أو بما تمتصه جذور النبات، إلا أن جزءاً عظيماً من مياه هذه الطبقة يبقى فيها وتتغلغل في باطنها، ويقوم بدور هام في تشكيل قشرة الأرض.

ويقوم الماء الباطن بعمله ميكانيكياً وكيميائياً وإن كان العمل الكيميائي أكثر أهمية ويؤدي إلى نتائج فعالة، أما العمل الميكانيكي فهو محدود لأن الماء الباطني يتحرك ببطء بين الصخور ولا يؤثر فيها كثيراً ولكنه يساعد على الانهيار الأرضي السريع وعلى زحف التربة. أما الأثر الكيميائي فيتم عن طريق الإذابة التي تعد عاملاً هاماً خاصة في مناطق التكوينات الجيرية التي تتأثر بالمياه الباطنية تأثراً بالغاً يفوق تأثر بقية الأنواع الصخرية الأخرى ـ حيث تؤدي إلى تكوين مجموعة الظاهرات الأرضية الفريدة من نوعها تكاد ترتبط كلها بما ينجم عن عمليات الإذابة بفعل المياه الباطنية. والأقليم النموذجي لهذا التأثير يعرف باسم اقليم الكارست Karst بيوغوسلافيا، وهو اقليم واسع يمتد على شكل نطاق كبير يسير موازياً للبحر الأدرياتي ويضم معظم جهات ساحل دالماشيا Dalmatia، كما يمتد هذا الاقليم نحو الشمال ليضم المناطق الشمالية الشرقية من ايطاليا حول مدينة تريستا. ونظراً لسمات هذا الاقليم، فأصبحت كلمة «كارست» تطلق على كل الظاهرات المورفولوجية المماثلة التي توجد في مناطق التكوينات الجيرية ـ التي تتأثر بفعل المياه الباطنية ـ في أية جهة من جهات العالم. وفيما يلي حصر لبعض الظاهرات الأكثر شيوعاً وانتشاراً والتي نجدها مشتركة ومتشابهة في أقاليم الكارست والتي تنشأ بفعل النحت الكيميائي Corrosion في هذه الأقاليم.

(١) التربة الحمراء Terra rossa

يتكون هذا النوع من التربة فوق التكوينات الجيرية ـ في جنوب أوروبا بصفة خاصة ـ وهي عبارة عن المواد الصلصالية والطينية (ترتفع بها نسبة أكاسيد الكالسيوم والألومنيوم) التي تخلفت عن تعرض التكوينات الجيرية لعمليات الإذابة، وزوال مادة كربونات الكالسيوم التي كانت تحتويها بفعل مياه الأمطار

وما يندمج بها من غاز ثاني أكسيد الكربون. ويدل تراكم هذه التكوينات الصلصالية الطينية على أن التكوينات الجيرية التي تخلفت عنها لم تكن نقية بل كانت تكثر بها الشوائب الطينية وكلما زادت هذه الشوائب كلما زادت مخلفاتها بعد تعرضها لعملية الإذابة. وتتفاوت التربة الحمراء كثيراً في سمكها فقد يصل سمكها في المناطق الغزيرة الأمطار في جنوب فرنسا أو سهل الأندلس - إلى بضعة أمتار، بينما تكاد تختفي تماماً على المنحدرات الشديدة.

(٢) السطوح الجيرية المشرشرة (التحرزات الأرضية) Bagaz أو Lapies

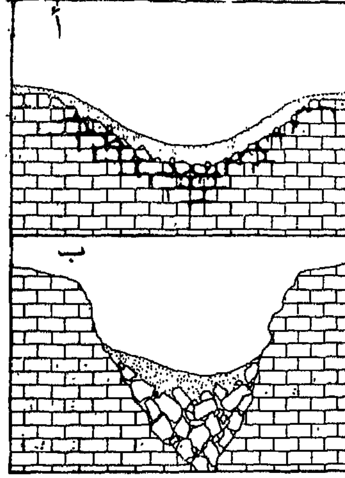
تتكون هذه السطوح كظاهرة في المناطق المضرسة من التكوينات الجيرية، وهي مناطق تختفي منها التربة الحمراء، ولا ينمو فوقها غطاء نباتي، وهي لهذا يندر تكونها في المناطق السهلية الأفقية الطبقات، إذ تتسرب مياه الأمطار خلال الصخور الناتئة فتذيب قدراً من المواد الجيرية مما يساعد على توسيع الشقوق والمفاصل في هذه الصخور، وتستمر هذه العملية بسرعة واضطراد حتى لا يبقى من التكوينات الجيرية إلا كتل منفصلة مشرشرة، ذات سطوح كثيرة التدبب (شكل رقم: ١٩ ـ ٦). وتتحكم إذن في عملية الإذابة التي تؤدي إلى تكوين مثل هذه الظاهرة عوامل عديدة هي التي تؤثر في سرعة قيامها بعملها وفي الاتجاه الذي تعمل فيه، ومن هذه العوامل: كمية الأمطار، ودرجة إنفاذ الصخر لمياه الأمطار، ووجود الشقوق والمفاصل وخطوط الانفصال، ووجود بعض عقد في التكوينات الجيرية.



(شكل رقم: ١٩ ـ ٦) ظاهرة السطوح المشرشرة في مناطق التكوينات الجيرية

(٣) البالوعات أو الحفر الغائرة Sinkholes

وهي من أكثر الظاهرات المميزة لمناطق التكوينات الجيرية شيوعاً وانتشاراً، وتتصف البالوعات بالشكل القمعي (المخروطي) بحيث تصل إلى أقصى اتساع لها فوق سطح الأرض وتزداد ضيقاً كلما غارت وتعمقت فيها، ولذا تبدو كأنها متصلة بالمجاري السفلية التي تمتد تحت الأرض بما يشبه الأنابيب Pipes. كما تتفاوت البالوعات تفاوتاً كبيراً في مساحتها وعمقاً، فقد لا تزيد مساحة بعضها على بضعة أمتار مربعة، وقد تصل مساحة بعضها الآخر إلى بضعة آلاف من الأمتار المربعة من الأرض، أما أعماق هذه البالوعات فتتراوح هي الأخرى ما بين ٣، ١٠ أمتار وقد يفور بعضها في داخل التكوينات الجيرية ٣٠ متراً أو أكثر. ويمكننا أن نميز بين نوعين رئيسيين من هذه البالوعات: نوع يتكون ببطء ملحوظ بفعل عملية الإذابة في صخور جيرية جرداء عارية لا تتكون فوقها تربة تؤدي إلى وجد غطاء نباتي، وتعرف البالوعات التي تنتمي إلى هذا النوع باسم الدولين Doline أو بالوعات الإذابة Solution Sinks، أما النوع الآخر فيتكون نتيجة انهيار الصخور الجيرية السطحية فوق شق أو مفصل زاد اتساعه بفعل الإذابة، وتسمى بالوعات هذا لنوع باسم البالوعات الانهيارية **Collapse Sinks** وهي أقل شيوعاً من بالوعات النوع الأول، وتختلف عنها في أن جوانبها صخرية شديدة الانحدار نحو قاعها، كما أنها ليست مستديرة أو بيضاوية (شكل رقم: ٢٠ ـ ٦). ولا بد بطبيعة الحال أن تتصرف نسبة كبيرة من المياه التي تجري جرياناً سطحياً إلى هذه البالوعات وسرعان ما تجد لها بعض المسارب الباطنية التي توسعها وتتجمع فيها. وكثيراً ما تندمج البالوعات المتجاورة بعد أن تزداد أطول أقطار كل منها وتتسع مساحاتها، ويتكون إزاء هذا منخفض كبير قد تصل مساحته إلى عشرات الألوف من الأمتار المربعة، ويسمى هذا المنخفض بالبالوعة المركبة Compound Sinks.



(شكل رقم: ٢٠ ـ ٦) أنواع البالوعات أو الحفر الغائرة (أ ـ حفر الإذابة، ب ـ الحفر الانهيارية).

وفي مناطق الكتوينات الجيرية تكاد تختفي المجاري المائية السطحية وتشق لنفسها مجاري باطنية ذات سقوف، وكثيراً ما تنهار بعض أجزاء من هذه السقوف بحيث يمكن من طريقها رؤية مجرى النهر الباطني (شكل رقم: ٢١ ـ ٦)، وقد تعرف الأجزاء المنهارة من سقوف الأنهار الباطنية باسم نوافذ الكارست Karst Windows ويتراوح اتساعها من بضع سنتيمترات إلى بضعة كيلومترات، وتعرف الفتحات الكبيرة منها باسم الأوفالا Uvala خاصة في إقليم بوسنيا Bosnia. وهناك نوع آخر من البالوعات يعرف باسم البوليى Polie وهي عبارة عن أحواض طولية الشكل تتميز أرضها مسطحة مستوية وتحيط بها حوائط مرتفعة من كل جهاتها وتتكون في المناطق الجيرية التي تعرضت للهبوط سواء بحركات التوائية أو انكسارية، أي أن الظروف الجيولوجية هي التي تؤدي إلى تكوين مثل هذه الأحواض بعمليات الإذابة.

(شكل رقم: ٢١ ـ ٦) عملية انهيار سقوف المجاري المائية الباطنية وتحولها إلى مجاري سطحية.

(٤) الأودية الباطنية العمياء

كثيراً ما تفور مياه جدول أو نهر صغير في بالوعة من البالوعات أو الحفر الغائرة التي تميز المناطق التي تتألف من طبقات جيرية أفقية أو قليلة الميل فيتحول إلى نهر باطني. وقد تغور في بعض هذه البالوعات أجزاء من مجرى نهر كبير قد يصل طولها إلى بضعة كيلومترات يجري فيها النهر في باطن الأرض قبل أن يعاود ظهوره فوق سطحها. ومن أمثلة هذه الأنهار: Lost River بولاية

أنديانا بأمريكا الشمالية - الذي تجري مياهه في باطن الأرض حوالي ١٢ كيلومتراً قبل أن يعاود ظهوره فوق سطح الأرض - ونهر ريكا Reka، القريب من مدينة تريستا Trieste الايطالية الذي يبلغ طول مجراه الغائص في باطن الأرض أكثر من ٢٨ كيلومتراً. وكثيراً ما تعرف المجاري السطحية التي تجف بعد أن تتحول مياهها إلى مجاري أخرى باطنية باسم المجاري العمياء Blind Valleys، وينتج عن امتلاء هذه الأودية العمياء عقب فترة أمطار غزيرة، حدوث فيضانات تهدد القرى والحقول في المناطق التي تجري فيها.

(٥) التلال المنعزلة Monadnocks

وهي تمثل البقايا السطحية لعملية النحت بفعل الإذابة، وهي تظل مرتفعة عما يجاورها وذلك لأنها تتألف من صخور أكثر مقاومة لعملية الإذابة. وتتخلف هذه التلال بعد أن يتم تخفيض سطح الأرض في مناطق الصخور الجيرية. وتعرف هذه التلال بأسماء عديدة: فتعرف باسم الهامز Hums في يوغسلافيا والبيبينو Pipino في بورتوريكو، كما تعرف في فرنسا باسم Butte temonies

(٦) الكهوف Caverns

تمثل الكهوف ظاهرة أخرى من الظاهرات المميزة لمناطق التكوينات الجيرية. والكهوف عبارة عن مجاري باطنية أو ممرات طبيعية تكثر في التكوينات الجيرية وتتشعب فيها أسفل سطح الأرض. وقد تمتد هذه الكهوف في باطن الأرض امتداداً أفقياً أو رأسياً، كما توجد على مناسيب عديدة وتظهر لها عدة طوابق، كما أنها قد تكون خالية تماماً من المياه. ويعتقد نفر من الباحثين أن المجاري الباطنية التي تتشعب في التكوينات الجيرية وتكون الكهوف والمغارات لها كثير من خصائص الأنهار التي تجري فوق سطح الأرض، إذ أنها تقوم بعملها في النحت والهدم عن طريق عمليتي النحت

الكيميائي Corrosion والنحت الميكانيكي Corrasion معاً. وأحسن الأمثلة التي تدل على أن الأنهار السفلية لها قدرة فائقة على نحت التكوينات التي تجري خلالها نهر Echo الذي يمتد في ولاية كنتكى Kentucky ويخترق كهف ماموث Mammoth Cave. فقد استطاع هذا النهر أن يشق مجراه في التكوينات الجيرية التي يخترقها ويحفر ذلك الكهف الفخم الذي يجتازه.

وفي بعض الأحيان تزيد حمولة المياه من المواد العالقة وتبدأ في الارساب، وذلك عندما يتبخر جزء من الماء المتسرب الذي ترتفع به نسبة أملاح الجير الذائبة، أو عندما تنخفض درجة حرارة الماء أو عند تبدد جزء من ثاني أكسيد الكربون المختلط بالماء. ومن مظاهر إرساب الماء الباطن تكوين أعمدة رفيعة تترسب عند سقف الكهوف الجيرية تعرف باسم النوازل Stalactites والتي تمتد صوب أرضها، وذلك لأن المياه المشبعة بالمادة الجيرية عندما تدخل إلى سقف الكهف تبقى معلقة عنده فتفقد جزءً مما تحتويه من غاز ثاني أكسيد الكربون وترسب ما تحمله من كربونات الجير على هيئة بللورات يتزايد عددها وامتدادها حتى يتكون عمود رقيق منها. وقد تسقط المياه الجيرية من سقف الكهف وتتراكم على أرضيه حيث تتعرض للتبخر وترسب مادة كربونات الكالسيوم المذابة بها وتتكون أعمدة أخرى مقابلة للعمود المتدلي من سقف الكهف وهي التي تعرف بالصواعد Stalagmites وهي تنمو إلى إلى أعلى. وقد يتقابل العمودان النازل والصاعد ويشتبكان ويتكون منهما عمود واحد سميك هو الذي يمكن تسميته بالعمود الجيري Travertine Pillar. وهناك نوع آخر من أعمدة الترسيب الجيرية التي توجد في الكهوف، ولا يشترط في نموها أن تمتد امتداداً رأسياً، بل تنمو نمواً أفقياً أو مائلاً على شكل خطوط منحنية وتعرف مثل هذه الأعمدة باسم الهليستايت Helictites.

الجليــد

(الماء في حالة صلبة)

يسقط الثلج في الجهات التي تنخفض فيها درجة الحرارة إلى ما تحت درجة الصفر المئوي بدلاً من المطر. وهو عبارة عن بللورات ـ تتخذ أشكالاً هندسية غاية في التنوع والإبداع ـ على شكل شظايا رقيقة قد تلتحم مع بعضها في ندف رهيفة تشبه زغب القطن المتطاير. ويذوب بعض الثلج المتساقط بمجرد بلوغه سطح الأرض، ويبقى أكثره إذا استمر تساقط الثلج بوفرة لفترة طويلة. وتتناسب نوبات تساقط الثلج ومدد بقاء تكدساته على الأرض طردياً مع زيادة درجة العرض وارتفاع منسوب سطح الأرض. ففي واقع الأمر يتساقط الثلج في العروض المختلفة، ولكنه يتساقط في العروض العليا والقطبية عند مستوى سطح البحر، بينما يتساقط على مناسيب أعلا من سطح البحر بكثير في العروض الدنيا، فهو لا يسقط في العروض المدارية إلا على قمم الجبال الشاهقة حيث تنخفض درجة الحرارة إلى ما دون نقطة التجمد. ويعرف الخط الذي يمثل الحد الأسفل لغطاء ثلجي مستديم على قمم المرتفعات والجبال بخط الثلج الدائم. ولا بد بطبيعة الحال من أن يختلف ارتفاع هذا الخط عن سطح البحر في العروض المختلفة، فهو في المناطق القطبية يتمشى مع سطح البحر، بينما يبلغ أقصى ارتفاع له في العروض المدارية أكثر من ٥٠٠٠ متر فوق سطح البحر. كما يختلف ارتفاع خط الثلج الدائم على منحدرات الجبال المواجه للأشعة الشمسية التي ترتفع حرارتها عنها على المنحدرات الظليلة. ويظهر ذلك واضحاً في جبال الألب فمنحدراتها الجنوبية تتلقى أشعة الشمس فترتفع حرارتها، ويرتفع تبعاً لذلك منسوب خط الثلج الدائم على هذه المنحدرات. كما يؤثر اتجاه الرياح ومصدر الرطوبة في خط الثلج الدائم، فيكون مثلاً أكثر انخفاضاً في غرب جبال البرانس عنه في شرقها بسبب تعرض غرب البرانس

مباشرة لرطوبة الرياح العكسية. وخط الثلج الدائم على منحدرات الهملايا الجنوبية أكثر انخفاضاً منه على المنحدرات الشمالية لأن المنحدرات الجنوبية تتعرض لهبوب الرياح الموسمية الحارة، بينما تتعرض المنحدرات الشمالية لمؤثرات الرياح القطبية الباردة.

وتعرف المنطقة الحوضية التي يتراكم فيها الثلج وتتحول فيها طبقاته من الحالة الهشة إلى حالة من التجمد أو التصلب بحقل الثلج Snow Field (Nevé) وتعد حقول الثلج ظاهرة مألوفة في جميع العروض وإن اختلف المنسوب، ففي العروض المدارية تقتصر حقول الثلج على أعلى القمم الجبلية ـ خاصة ما انحصر منها بفجوات ظليلة. وفي العروض المعتدلة والباردة تسود حقول الثلج على مناسيب أدنى بكثير، بينما تكسو الثلوج السهول التي تقترب مناسيبها من مستوى سطح البحر في العروض القطبية. ويلاحظ أن جميع السلاسل الجبلية الكبرى تتمتع بحقول ثلجية حتى الجبال الشاهقة القريبة من دائرة الاستواء لا تخلو قممها من حقول ثلج محدودة.

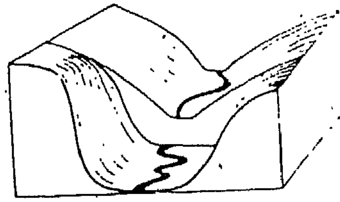
والواقع أنه إذا تميز الحقل الثلجي باتساعه، وبعظم كميات الثلج التي تضاف إليه سنوياً، تتكون من هذه الحالة ألسنة من الجليد تنحدر على جوانبه وتتحرك على سطح الأرض ببطء أينما أنفسح أمامها مجال الحركة المطلقة، وعندئذ تعرف هذه الألسنة باسم الأنهار الجليدية أو الثلاجات Glaciers. وذلك لأنها تشق لنفسها أودية واضحة يملؤها الجليد. ويختلف الجليد الذي تتكون منه الثلاجات عن الجليد في حقول الثلج اختلافاً واضحاً في خصائصه الطبيعية، إذ بينما يتميز جليد الحقول الثلجية بكثرة فراغاته البينية، نجد أن جليد الثلاجات جليد غير منفذ للماء وشديد التماسك والصلابة. وتتحرك الثلاجات على طول منحدرات الجبال حركة بطيئة قد يصل معدلها ١,٢٥ متراً في الساعة، كما أن هذه الحركة ليست واحدة في جميع أجزاء الثلاجة الواحدة، فهي عند جوانبها وقاعها أبطء من الأجزاء الوسطى فيها. وتتنوع أصناف الثلاجات تبعاً لأحجامها وطبيعة الأراضي التي تستقر عليها. والنوع الأول من الثلاجات يتحدد حسب

مصادرة، فإذا كانت مصادرها هي قمم الجبال فعند حركة الجليد هبوطاً على المنحدرات يتخذ له مسارات في مجاري الأودية الأرضية الغائرة في تلك المنحدرات وتعرف في هذه الحالة باسم ثلاجات الأودية، أما إذا كانت مصادرها هي حقول الجليد التي تحتل مساحات أرضية منبسطة، انتشرت الأجسام الجليدية (الثلاجات) من مراكزها تجاه جيمع الأطراف على حد سواء. وهناك نوع من الثلاجات يعرف باسم ثلاجات العروض العليا، وهي تختلف قليلاً عن ثلاجات الجبال من حيث وعورة جوانب أشراطة الجليد ونهايتها المفاجئة، بينما يتخذ تكدس الجليد فوق أسطح السهول أو الهضاب المستوية السطح بالعروض القطبية أشكالاً أقرب إلى الإستدارة والتي تنتشر حركتها من مراكز تجمعاتها زخفاً في جميع الاتجاهات، مما يبرر تسميتها بأغلفة الجليد.

وبناء على ما سبق، فإن الجليد المتراكم يتخذ مظهرين هامين هما: (أ) الغطاءات الجليدية Ice Sheets؛ (ب) الأنهار الجليدية Glaciers.

والغطاءات الجليدية عبارة عن مساحات واسعة جداً ومستوية تقريباً، يغطيها الجليد على شكل طبقة عظيمة السمك ـ قد تبلغ أحياناً مئات الأمتار ـ وهذا الجليد ينزلق وينتشر من الوسط نحو الأطراف بحكم الضغط والجاذبية الأرضية، ولكنه انتشار بطيء جداً، إلى أن تصل أطراف الجليد إلى أقصى مداها، فتذوب ـ إذا كانت لا تزال على سطح الأرض، أو تتكسر إلى قطع جليدية كبيرة الحجم تطفو على سطح البحر، وتسمى هذه الكتل بالجبال الجليدية الطافية Icebergs. وفي الوقت الحاضر يقتصر وجود الغطاءات الجليدية في الجهات القطبية، مثل قارة انتاركتيكا وجزيرة جزينلند. أما من العصر الجليدي، فقد كانت هذه الغطاءات أوسع انتشاراً منها الآن ـ وخاصة في نصف الكرة الشمالي، وقد كانت مراكز انتشارها في اسكنديناوة في شمال غرب أوروبا، وكذلك في شمال أمريكا الشمالية حتى جنوب منطقة البحيرات العظمى.

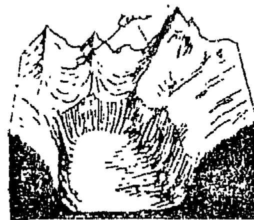
أما الأنهار الجليدية فتوجد عادة في المناطق الجبلية، وهي عبارة عن الأنهار التي تخرج من الحقل الجليدي (حقل الثلج)، وتسير ببطء منزلقة على منحدرات الجبال بعامل الجاذبية الأرضية حتى تصل إلى خط الثلج الدائم، فيذوب الجليد ويجري ماء، ويتحول النهر الواحد منها إلى نهر مائي عادي. ومن أهم الاختلافات بين الأنهار الجليدية والأنهار المائية، أن الأنهار الجليدية تكون قصيرة جداً بالنسبة للأنهار المائية، كما يظهر القطاع العرضي للنهر الجليدي على شكل حرف U على عكس القطاع العرضي للنهر المائي الذي يظهر على شكل حرف V. هذا وتختلف سرعة النهر الجليدي تبعاً لمقدار سمك الجليد، وانحدار المجرى، ومقدار العقبات التي تعترضه، وكذلك ارتفاع درجة الحرارة وانخفاضها، كما تكتنفها بين الحين والآخر تلال عقدية صغيرة كالأسافين. ومن أهم الظاهرات التي تميز سطح الأنهار الجليدية تلك الشقوق التي تقطعها، والتي قد يبلغ عمقها عدة أمتار. وهذه الشقوق Cravasses، أما أن تكون طولية، وأما أن تكون عرضية. ويرجع سبب تكون الشقوق الطولية إلى ضيق الوادي ثم اتساعه مما يؤدي إلى ضغط الثلج عند المضايق ثم تفكك بعضه من بعض لكي يملأ فراغ الوادي عند اتساعه كما ترجع إلى اختلاف سرعة الجليد في جسم النهر الجليدي فسرعته على الجانبين ـ كما قلنا ـ تكون أقل من سرعته في الوسط وذلك بسبب احتكاك هوامشه بيابس الأرض للوادي النهري الذي انساب فيه هذا النهر الجليدي. أما الشقوق العرضية فترجع نشأتها إلى وجود عقبات كالمساقط مثلاً في باطن الوادي، الأمر الذي يؤدي إلى تشقق الطبقات العليا من الثلج. وتتأصل الأنهار الجليدية الجبلية بحقول الجليد التي تملأوها أرضية بين قمم الجبال تعرف باسم «الحلبات»، وهي فجوات حوضية غائرة، تقفلها حوائط جرفية سحيقة تجاه أعالي المرتفعات الجبلية. بينما ينفرج طوقها في الاتجاه المقابل عن مخرج أو فج يخرج منه النهر الجليدي الذي يشرع من هناك سعيه هبوطاً على جوانب المنحدرات (شكل رقم: ٢٢ ـ ٦).

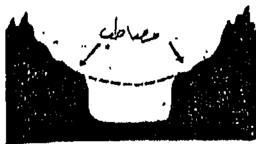


التشابه بين كل من الوادي النهري والوادي الجليدي

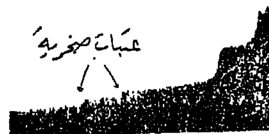


أودية معلقة في أراضي ما بين الأودية

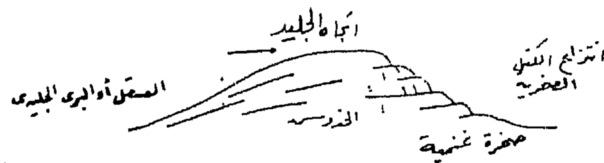




قطاع عرضي لوادي نهري تأثر بالنحت الجليدي



قطاع طولي لوادي تأثر بالتعرية الجليدية



(شكل رقم: ٢٢ ـ ٦) خصائص الوادي الجليدي والوادي النهري

نحت الجليد

لعل أهم ما يلاحظ على الثلوج المستقرة على سطح القمم الجبلية دون حراك أنها ليست في حد ذاتها عامل نحت أو تعرية، بل على العكس قد تقي المواد السطحية الناعمة تحتها من عصف الرياح، كما تسبب حالة التجمد الدائمة وقف كل أثر للمياه الجارية في التأثير على فتات الصخور واكتساحها من مواضعها، وما لم تكن الأراضي التي تغطيها الثلوج عرضة لتناوب الذوبان والتجمد بين النهار والليل، فإن نشاط التجوية الميكانيكية فيما يعرف بفعل الصقيع Frost action يبطل ويتوقف تماماً.

وتتوقف قدرة الثلاجات (الأنهار الجليدية) وأغلفة الجليد (الغطاءات الجليدية) كعوامل نحت على سرعة انسيابها، فالجليد المتحرك يجتاح أغطية التربة والرواسب السطحية، ويسوي ما بالأرض من مظاهر التضرس الصغرى Micro relief، أما معالم السطح الكبرى فإنها تبقى كما هي باستثناء حفر الأخاديد والفجوات، كما يحفر الجليد المتحرك في الأودية أرضيات أو قيعان تلك الأودية. وتتسلح الثلاجات بفتات ما تلتقط من صخر أثناء زحفها على الأرض، كما تتزود بكل ما تتلقاه أسطحها من جلاميد ومواد ترسلها بين الحين والآخر انهيالات جروف الحلبات، وانهيار جوانب الأودية، فتكسب بذلك قدرة على النحت والتعرية. وتعد هذه المواد بمثابة أضراس الجليد الطاحنة، ونصاله الكاشطة، ومعاول يستخدمها في عمليات الصقل والتخدد والبري التي ينتج عنها مساحيق ترابية غاية في النعومة. ويؤدي النحت الجليدي الرأسي والجانبي إلى تكوين عدة مظاهر تضاريسية هي:

١ ـ الأودية المعلقة Hanging valleys: وهي عبارة عن أودية جانبية كانت تجري فيها روافد صغيرة لنهر جليدي كبير ولم تستطع كمية الجليد القليلة أن تنحت مجاريها إلى مستوى قاع الوادي الرئيسي، فيبقى قاعها معلقاً أو مرتفعاً بعد ذوبان الجليد.

٢ ـ الأحواض الصخرية Rock Basins: وهي عبارة عن مناطق منخفضة في قاع الوادي الجليدي، لا تبدو منسجمة في مستواها مع الانحدار العام للوادي. ويرجع تكونها إلى أن التعرية كانت أقوى في تلك المناطق من قاع الوادي من المناطق المجاورة ـ إما للين الصخور وإما لكثرة ما بها من فواصل وشقوق.

٣ ـ الصخور الغنمية أو الأغنام النائمة Roches Moutonnées: وهي عبارة عن مناطق صخرية من قاع الأودية الجليدية تمتاز بسطحها الأملس وبشكلها المنحني الذي يشبه ظهور الغنم، وهي في الأصل عبارة عن صخور بارزة في قاع الوادي لم يستطع الجليد أن يزيلها، فاندفع فوقها، واحتك بها بشكل قوي مما سوى سطحها.

الإرساب الجليدي

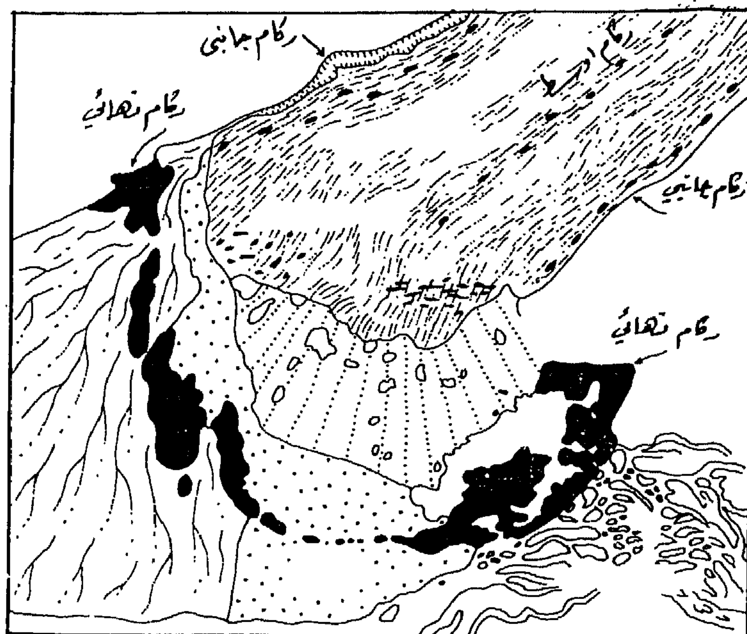
حالما يقل انحدار الأنهار الجليدية (الثلاجات) نحو مهابطها، سرعان ما تفقد قدرتها على النحت والإزالة، وتجنح لإلقاء أعبائها من الرواسب الركامية متى سلبت الطاقة. ومن هنا يمكن القول أن عمل الأنهار الجليدية لا يقتصر على النحت وحده، بل يقوم الجليد المتحرك بنقل كميات كبيرة من الرواسب المؤلفة من الجلاميد والأحجار والحصى والرمال والطين ثم ترسبها على أشكال متعددة تعرف في مجموعها بالرواسب الجليدية أو الركامات Moraines، وهي على أنواع:

١ ـ الركام الجانبي، وهو الذي يتراكم من فئات الصخر على جانبي النهر الجليدي، ويتخذ هذا الركام حائطين يحفان الجليد من جانبيه ويحددان مجراه.

٢ ـ الركام الأوسط، وهو الذي يتكون من الركامات الداخلية لأي نهرين جليديين يلتحمان في مجرى واحد، وقد يحدث أن تلتحم عدة أنهار

وتنحدر معاً في وادي متسع فيتكون من ذلك عدة خطوط متوازية من الركامات الوسطى.

٣ ـ الركام النهائي، وهو الذي يتكون عند نهاية النهر عندما يذوب الجليد ويتحول إلى مجرى مائي، وحينئذ تعجز المياه عن أن تحمل المواد التي كان الجليد يحويها. ولما كانت حركة الجليد في وسط النهر تكون عادة أسرع منها في الجوانب، فيتبع ذلك تحدب نهاية النهر الجليدي، ولهذا تبدو بعض الركامات النهاية على شكل هلالي، وقد تكون سرعة الجليد متساوية في الأجزاء المختلفة فيكون الركام النهائي على شكل حائط يمتد عبر الوادي (شكل رقم: ٢٣ ـ ٦).



(شكل رقم: ٢٣ ـ ٦) أنواع الركامات الجليدية

هذا ونلاحظ اختلاف رواسب الأنهار الجليدية عن رواسب الأنهار المائية، في أن الأولى عبارة عن أكوام غير منتظمة قد تختلط فيها الجلاميد الكبيرة بالحصى والرمال والغرين الدقيق وهي ليست كالرواسب النهرية مرتبة

على حسب قوة النهر على الحمل، وذلك لأن الجليد يحمل على سطحه وفي باطنه كل ما يهبط إليه من مواد مهما بلغت أحجامها وأوزانها، وإذا ما ألقى الجليد بهذه الرواسب فأنها تكون في أكوام مختلطة غير منتظمة.

الريـــاح

لا شك أن الرياح أضعف من المياه الجارية والجليد كعامل تعرية ونقل، ولهذا فهي أكثر حاجة إلى مساعدة عمليات التجوية التي تقوم، كما ذكرنا ـ بتفكيك الصخور وتحللها. وهي بذلك تجد في المناطق الصحراوية الواسعة مجالاً عظيماً تنشط فيه، وتعمل على تكوين ظاهرات تضاريسية هامة، إلا أن أثرها لا يقتصر على المناطق الصحراوية والجهات القريبة منها، وإنما يظهر أثرها أيضاً في الأقاليم الساحلية. والرياح بنفسها تكون عاملاً ضعيفاً، قد لا تستطيع أن تؤثر في الصخر ذلك التأثير الواضح، ولكنها بفعل ما تحمله من ذرات تستخدمها كمعاول هدم هو الذي يعطيها قوة تستطيع بها أن تحدث في أشد الصخور صلابة آثاراً واضحة، وتنحتها بسرعة عظيمة. ولما كانت الرياح بالقرب من سطح الأرض تحمل رمالاً أكبر حجماً وأكثر مقداراً مما تحمله في طبقاتها العليا، تكون تعريتها أكثر شدة في الصخور القريبة من سطح الأرض، ولهذا تبقى الصخور البعيدة عن سطح الأرض معلقة زمناً إلى أن يضعف تماسكها فتسقط. كما أن نوع الصخور له أثره في فعل الرياح فنوع الصخر ونظامه يجعل تأثير الرياح مختلفاً في حالة صلابة الصخور أو ليونتها، كذلك يتوقف فعل الرياح على المكان نفسه فالجهات الجافة يكون تأثير الرياح فيها قوياً أما الجهات الرطبة أو المغطاة بالنباتات فتأثير الرياح فيها تأثير ضعيف لحماية النبات للتربة ـ من أجل ذلك كانت الصحارى أكبر ميادين الرياح بسبب شدة الجفاف، وخلو الأرض من الغطاء النباتي.

نحت ونقل الرياح

الأصل في النحت أو التعرية بواسطة الرياح أنها تعمل دائماً على إزالة المرتفعات والنتوءات في سطح الأرض. ولهذا السبب تمتاز الجهات الصحراوية بقلة الاختلافات بين المرتفعات والمنخفضات. وإذا وجدت الجبال في هذه الجهات تكون الرياح قد طبعتها بطابعها الخاص، وذلك لأن خلوها من الغطاء النباتي يعرض كل جزء منها للتجوية ولفعل الرياح، فنجد منحدراتها وعرة، وصخورها ملساء تقريباً، فالرياح تذرو الذرات الصغيرة وتلقى بها بعيداً، ولذلك تتكدس الصخور المتكسرة في جوانب الجبال الصحراوية وعلى منحدراتها.

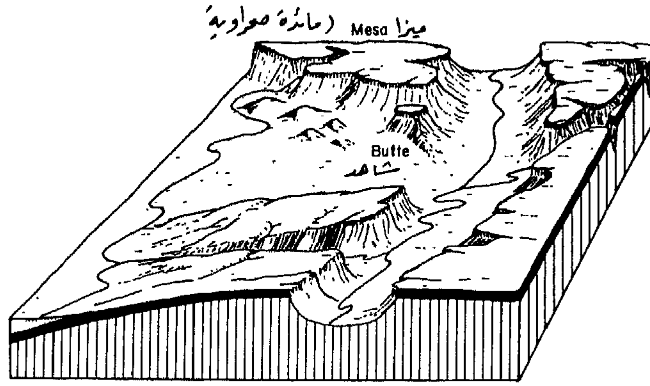
وتؤدي الرياح دورها كعامل نحت بإحدى وسيلتين، الوسيلة الأولى هي التذرية Deflation، وتتم بواسطة قوة دفع الهواء وضغطه، واحتكاكه بالسطح، فحيثما وجدت مساحة من سطح الأرض الجافة المكشوفة والمغطاة بمواد مفككة، أو قليلة التماسك كفتات الصخور المعرضة للتجوية أو الرواسب الفيضية أو الجليدية أو رمال السواحل، فإن الرياح متى مرت بهذه الجهات التقطت بعض الجزئيات الدقيقة من بين الرواسب، وحملتها أو جرتها بعيداً عن مصادرها. وبطبيعة الحال تكون الرياح أقدر على حمل الجزئيات الدقيقة المشتقة من الصخور الصلصالية والطينية والغرينية إلى ارتفاعات كبيرة ولمسافات طويلة، أكثر من حبيبات الرمال الخشنة التي تتطلب سرعات كبيرة للرياح، قبل أن تتحرك بالقرب من سطح الأرض ولمسافات قصيرة. أما الوسيلة الثانية للنحت بواسطة الرياح فهي التخديد، وتتم بواسطة الرياح المحملة بالرمال، فترى أعمدة الهاتف في الصحراء متآكلة القواعد، ويبدو أثر نحت الرياح والرمال كذلك في الجلاميد وكتل الصخر ذات الأسطح اللامعة المتآكلة.

ونلاحظ أن الرياح أثناء نحتها للصخور تعمل على صقلها، وتحدث فيها خطوطاً دقيقة تمتد عادة في اتجاه الرياح. كما نلاحظ أن المياه الجارية ـ خاصة

السيول ـ تعمل على وجود الأوُدية الجافة في كثير من الصحارى ـ مثل صحراء الشرقية في مصر، ومع ذلك تستطيع الرياح وحدها ـ وبدون مساعدة المياه الجارية ـ أن تحفر الأودية في الصحارى، وتحدث مثل هذه الظاهرة في مناطق التكوينات اللينة والصلبة، فتنحت الرياح التكوينات اللينة وتبقى التكوينات الصلبة بارزة على السطح، ولا تزال الرياح تعمل حتى توجد مرتفعات تكسوها صخور صلبة بينها منخفضات، ومن أمثلة ذلك منخفضات الصحراء الغربية في مصر كمنخفضات الواحات الخارجة والداخلة وسيوة والقطارة والفيوم وغيرها. ويقال أنه كانت هناك شقوق طولية ساعدت عامل الرياح على تكوين هذه المنخفضات.

ونتيجة لفعل الرياح في النحت والتعرية في الجهات الصحراوية تتآكل الأعمدة الخشبية الخاصة بالتليفونات، خاصة في الأجزاء السفلى والقريبة من سطح الأرض، ولا تلبث كذلك حتى تسقط. ونتيجة لفعل الرياح أيضاً تتخذ الصخور التي تكون المظاهر التضاريسية، أشكالاً خاصة، فإذا كانت هذه الصخور صلبة في أجزائها العليا ولينة في أجزائها السفلى، نتج عن ذلك شكل يشبه المنضدة، وتسمى هذه الظاهرة الموائد الصحراوية. وإذا كان العكس صحيحاً نتج عن ذلك شكل آخر يشبه المخروط. وإذا تعاقبت الصخور الصلبة واللينة وكان بعضها يتلو بعضها، صار لها شكل يشبه المعابد في الصين الهندية، تسمى بالياردنج Yarding أو الدهاليز والضلوع الصحراوية (شكل رقم: ٢٤ ـ ٦).

ونحن نعرف أن الصفة المناخية للصحراء هي الجفاف، وسبب وجودها هو قلة سقوط المطر، وتمثل الصحارى نحو ثلث مساحة الأرض، وليست كل الصحارى تغطيها الرمال، فهناك صحارى صخرية أرضها من الصخر الصلب، وذلك لأن الرياح تكتسح أولاً بأول كل ما قد يتكون هناك من ذرات رملية. وهناك صحراء أرضها مغطاة بالحصى تعرف بالرق، وذلك لأن الرياح استطاعت أن تحمل الرمال الخفيفة بعيداً تاركة المواد الخشنة التي تتداخل

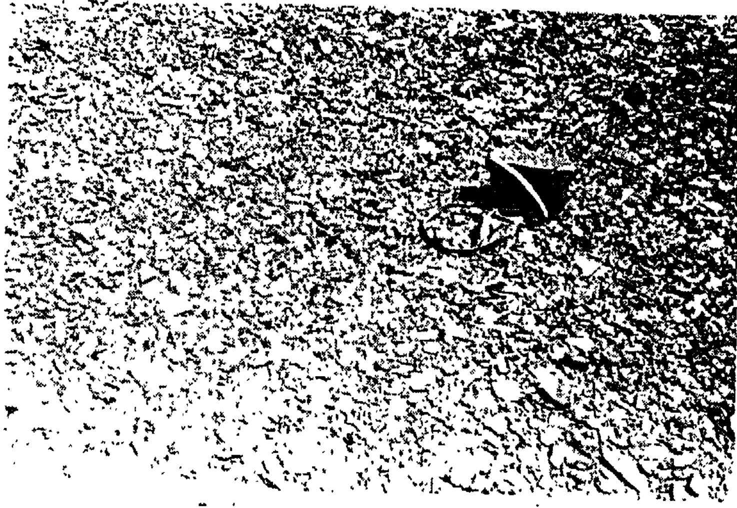




(شكل رقم: ٢٤ ـ ٦) الظاهرات التضاريسية الناجمة عن نحت الرياح

فتتصلب وتكون أسطح غاية في الاستواء، تصلح لسير المركبات بالصحراء وكأنها الطرق المرصوفة لذا يطلق عليها اسم الرصيف الصحراوي Desert Pavement (شكل رقم: ٢٥ ـ ٦). والصحراء أيضاً قد تكون أرضها من الطفل أو الصلصال، فتكون تربة الصحراء إذن إما صخرية أو مختلطة من الطفل والحصى.

ويظهر أثر الرياح كعامل نقل في الصحارى والجهات الساحلية، فالرياح تستطيع نقل قطع الصخور إذا كانت سريعة قوية وتهوي بها إلى المنخفضات، كما أنها تنقل ذرات الرمال إلى قارات أخرى كما يحدث لرياح السيروكو والسولانو التي تهب عبر الصحراء الكبرى متجهة نحو إيطاليا وأسبانيا، وعندما تكون الرياح عاصفة فإنها تنقل الرمال مسافات بعيدة وقد تحملها إلى الجهات



(شكل رقم: ٢٥ ـ ٦) الرصيف الصحراوي

الزراعية كما يحدث في رياح الخماسين التي تهب على الدلتا المصرية. وفي الجهات الساحلية حيث الرمال والحصى الذي كونته الأمواج من نحتها في الساحل فتنقلها الرياح نحو الداخل على شكل كثيبان متحركة إلا إذا نمت فوقها نباتات تثبتها. كذلك تنقل الرياح الرماد البركاني إلى مسافات بعيدة. ويتم نقل المواد المحمولة بالرياح بوسائل السحب أو الجر، والتعلق، والقفز.

إرسارب الرياح

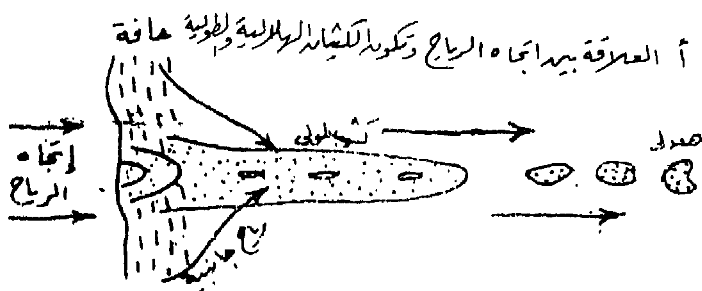
تبدأ الرياح في إرساب حمولتها من المواد الخشنة بمجرد انخفاض سرعتها وبطء تيارات الهواء فجأة أو اعتراض عقبات تضاريسية لها، ولكنها تستمر في حمل المواد الناعمة لمسافات طويلة وترسبها على مساحات أوسع. وأهم مظاهر الارساب بواسطة الرياح هي الكثبان الرملية وتربة اللويس Loess.

وتتكون الكثبان الرملية في الصحارى نتيجة إرساب الرياح لحمولتها بسبب اعتراض عائق أو عقبة مهما كانت يسيرة للرياح، أو نتيجة لضعف قوة

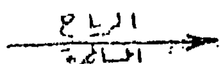
هبوبها، ففي كلا الحالين تلقى الرياح بجزء من حمولتها. أو كل حمولتها على شكل كثيب صغير أو غرد Sand - dune ثم لا تزال الرياح كلما مرت به ألقت عليه جزءاً مما تحمل من الرمل حتى ينشأ عن ذلك كثبان كثيرة. ومما يلاحظ في تكوين الكثيب في الصحراء أن الجانب الذي تهب منه الريح مستطيل سهل الانحدار، ويكون الجانب الآخر قصير شديد الانحدار، وذلك لأن الرياح بعد أن تجتاز قمة الكثيب يصادفها انخفاض في الجانب الآخر، فتحدث من هذا حركة عكسية ينشأ عنها إزالة جزء من أعلى الرمال ورفعه إلى أعلى، أو حمله وإلقاؤه على الكثيب التالي. ومن الملاحظ أيضاً أن الكثيب يتحرك، وذلك لأن الرياح لا تزال تحمل جزءاً من الرمل من جانب وتلقى به في جانب آخر، ولكن شكل الكثب العام يظل محفوظاً، ونلاحظ أن أطراف الكثيب تتحرك بسرعة أكثر من وسطه، لأن الرمال في الأطراف تكون أقل منها في الوسط، وينشأ عن هذه الظاهرة الأخيرة أن يتخذ الكثيب شكلاً هلالياً، ويكون جانبه المحدب هو الجانب المواجه للرياح. ويسمى هذا الكثيب الهلالي أحياناً بالرخان. (شكل رقم: ٢٦ ـ ٦) هذا إذا كانت الرياح تأتي من جانب واحد، أما إذا جاءت من جهتين متضادتين، فأن النظام يختلف ويصبح الكثيب مجرد مرتفع من الرمل مستطيل أو مستدير. وقد توجد الغرود منفردة، وقد توجد مجتمعة ومتصلة تغطي مساحات واسعة تمتد إلى مئات الكيلومترات، وتبدو على شكل بحر من الرمال، مثل بحر الرمال في صحراء مصر الغربية قرب الحدود المصرية الليبية ونلاحظ أن ارتفاع الكثبان قلما يزيد عن ٢٠٠ متر، وذلك راجع إلى طبيعة تكوينها وإلى المادة المفككة التي تتكون منها.

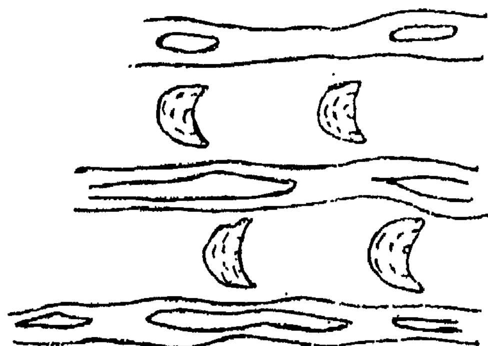
أما تربة اللويس[1] فهي عبارة عن طبقات من الغبار الدقيق، حملتها الرياح لمسافات طويلة قبل أن ترسبها، وأبرز مثال لها تربة بعض المناطق في شمال الصين، وفي شرق نهر المنسيسيبي بأمريكا الشمالية. وتربة اللويس تربة

(١) اشتق اسمها من منطقة في حوض الراين بألمانيا إسمها اللويس.

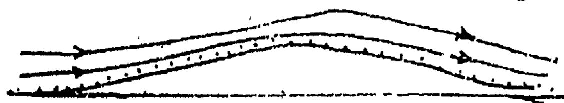


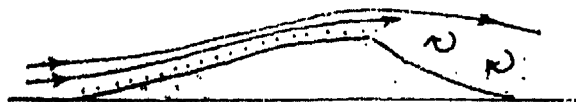
ب - تكوين الكثبان الهلالية في الدهاليز البينية للسيوف الطولية

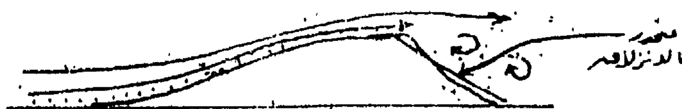




ج - كيفية تكوين منحدر الانزلاق للكثيب الهلالي







(شكل رقم: ٢٦ ـ ٦) أشكال الكثبان الرمليه

خصبة سميكة تكونت في البليستوسين في ظروف وأحوال مناخية متغيرة عما هي عليه الآن من حيث شدة الرياح وانتشار الجليد. ففي الصين نقلت الرياح ذرات الرمال من أواسط آسيا إلى شرقها (شمال الصين)، أما في أوروبا وأمريكا الشمالية فقد تكونت بفعل الرياح والجليد معاً، فقد ترك العصر الجليدي ركامات (رواسب) أصبحت بعد جفافها عبارة عن أتربة ناعمة حملتها الرياح وأرسبتها في أواسط أوروبا على شكل تربة ناعمة كثيرة المسام خصبة عند قواعد الجبال الوسطى في أوروبا.

الفصل السابع

حركات القشرة الأرضية
أسبابها ومظاهرها

حركات القشرة الأرضية

أسبابها ومظاهرها

كان لإرتكاز قشرة الأرض على مادة المانتل (الوشاح) التي ترتكز بدورها على النواة (الباطن) الرخوة، بعدم استقرارها وتعرضها لحركات ناتجة عن القوة الباطنية التي تؤثر في باطن الأرض. وينتج عن عدم الاستقرار حركات بطيئة تستغرق ملايين السنين، وقد تغطيّ مساحات واسعة، وأخرى سريعة مثل الزلازل، وقد تتم الحركة في نطاق ضيق من القشرة، كما هي الحال في الحركات التي تصيب سواحل القارات.

وتتنوع مظاهر الحركات التي تصيب القشرة الأرضية والتي تؤدي بدورها إلى تكوين مظاهر تضاريسية كبرى تميز هذه القشرة. ويمكن إلقاء الضوء على هذه الحركات فيما يلي.

أ ـ الحركات البطيئة:

(١) الحركة الإبيروجينية Epeirogenic movement

وتعرف هذه الحركة بحركة بناء القارات (Epeiros = قارة)، وهي، كما قلنا سابقاً، عبارة عن حركة رأسية تحدث من أسفل إلى أعلى أو العكس، وينتج عنها رفع أو خفض في القشرة التي تبتعد من مركز الأرض أو بالتالي تقرب منه. وقد تتم هذه الحركة على نطاق محلي فتكون محصورة حول الساحل، كما تؤثر في المستوى النسبي لليابس والماء، وبالتالي لوضع خط بالساحل. ويجب عدم الخلط ما بين تلك الحركات وبين انخفاض منسوب مياه البحر أو ارتفاعه

والناتج عن نقصان في مياه البحر أو زيادته كما يحدث في حالات زيادة تكدس الجليد على اليابس أو بالعكس، والتي تعرف باسم Eustatic movement.

ومن أمثلة الحركات الإبيروجينية تلك التي تتعرض لها كتلة فنوسكندناوه منذ نهاية عصر الجليد الأخير، وبعد إزاحة ضغطه عنها. إذ ترتفع تلك الكتلة بمعدل سنتيمتر واحد كل عام إلى الشمال من ذراع بوثنا وبمعدل، ٥, ٠ سنتيمتر عند دائرة عرض مدينة استوكهولم. بينما ينخفض ساحل سازويج هولشنين بمعدل ١, ٠ سنتيمتر. كما يتعرض البلطيق الغربي إلى حركة خفض تصل إلى معدل ٣٤, ٠ سنتيمتر في العام الواحد. كما يمتد أثر حركة الإنخفاض إلى سواحل بحر الشمال. فيصل في موانيء فيلمزهافن ٢٣, ٠ سنتيمتر، وبرمن إلى ١٨, ٠ سنتيمتر وفي كوكسهافن ١٩, ٠ سنتيمتر في العام. كما تعرض إقليم الألب في بفاريا لحركة خفض يصل معدلها ما بين ١ إلى ٦ سنتيمتر في الفترة ما بين ١٩٠١ إلى ١٩١٩. أي بمعدل ٢٣, ٠ سنتيمتر في العام الواحد.

ومن أشهر أمثلة الحركة الإبيروجينية تلك التي تعرضت لها أجزاء القشرة قرب نابلي بإيطاليا حيث يقوم معبد سرابيس Sérapis، الذي تنغمر الأجزاء السفلى لأعمدته في الماء حالياً. كما أمكن التعرف على ثقوب من آثار تعرية حيوانية بحرية على الأعمدة حتى ارتفاع من ٣,٥ إلى ٦,٥ متر، مما يدل على أن الأعمدة كانت قد انغمرت في ماء البحر حتى عمق ٦ متر على الأقل، ثم عادت فارتفعت. والمعروف أن تلك المنطقة يسودها عدم استقرار، كما تأثرت قشرتها وباطنها بالبراكين. فعلى مقربة منها ثار بركان مونتا نوفا عام ١٥٣٨. وبذلك تعلل حركة الهبوط بأنها نتيجة للطفح البركاني الذي نتج عنه نقص في كتلة الباطن القريب من القشرة، الأمر الذي ينتج عنه هبوط القشرة.

كما قد تتم الحركة الأبيروجينية مرتبطة بحركة الزلازل، وتتم الحركة في هذه الحالة بسرعة. فقد أمكن التعرف على آثار لذلك في منطقة البحر المتوسط، حيث تعرضت سواحل جزيرة بالمورالا إلى حركة هبوط وصلت إلى

٦٤ متر ما بين ١٨٢٢ إلى ١٨٧٥، في أعقاب حركات زلزالية. وقد شوهدت آثار تلك الزلازل عام ١٨٣١ في ممر صقلية حيث ظهرت جزيرة صغيرة مع ارتفاع القاع إلى ١٨٣ متر عمقاً، ثم عادت واختفت الجزيرة بعد ذلك في مطلع القرن الحالي. ويعتقد أن الآثار الرومانية الغارقة على عمق ٥ ـ ٨ متراً أما ساحل مدينة الإسكندرية يرجع إلى هبوط الساحل عقب حركة زلزالية تعرضت لها المدينة إبان العصور الوسطى.

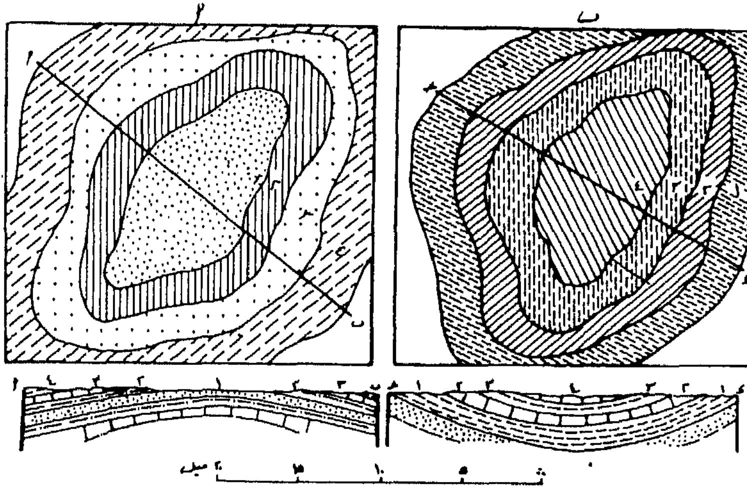
(٢) الحركة الأوروجينية Orogenic movement

تعرف الحركة الأورجينية بحركة بناء الجبال (من Oros = جبل). إذ أنها تشمل حركة انضغاط القشرة مما يؤدي إلى تجعدها وإلتوائها. وكان المعتقد قديماً أن الانضغاط يتم نتيجة لزحزحة كتل اليابس الصلبة وضغطها على الطبقات الرسوبية التي تجمعت في أعماق البحار وملأتها، مما يؤدي إلى تحولها إلى التواءات جبلية. ورغم أن هذه النظرة لم يعد يقبلها معظم الباحثين. إلا أن بناء الجبال يتم عن حركة انضغاط الطبقات Compression الذي يؤدي إلى حركتها الأفقية. ومن أمثلة الحركات الأوروجينية التي أمكن تسجيلها تلك التي تتعرض لها جبال الألب، إذ لا تزال تتحرك طبقاتها أفقياً نحو الشمال، ويقدر ذلك في منطقة شمال جنوه بمعدل ٠,٥٢ سنتيمتر في العام. كما تقدر حركة السلاسل الخارجية للألب في وسط أوربا بمعدل ٠,٢٦ سنتيمتر في العام، بالإضافة إلى ما أمكن تسجيله من استمرار وتزايد ضيق الوديان الداخلية، وازدياد تقلص قمم جبالها.

وبالإضافة إلى تلك الحركتين هناك حركة أفقية لكتل القارية الكبيرة وهي تتم في اتجاه مسامت لمحيط الأرض مثل حركات Eepeiropherese زحزحة القارات التي سنتعرض لها فيما بعد.

(٣) الحركة الدكتوجينية Dyctogenic movement

وهي حركات تقوم بناء تقببات في القشرة الأرضية أو حركات التواء خفيفة والتي تتم نتيجة حركة رفع رأسية في نقطة مركزية. ويحدث التقبب عندما تصاب الصخور بتشوهات تؤدي إلى تقوسها بحيث تميل طبقاتها في كافة الاتجاهات، بعيداً عن منطقة مركزية في حالة القباب Domes، أو نحو نقطة مركزية في حالة الأحواض التكتونية. ويختلف التعبير عن النوعين من البنيات على الخرائط والقطاعات الجيولوجية متى تعرضت هذه البنيات للتعرية فتنكشف مكوناتها، ففي حالة القباب توجد أقدم التكوينات الصخرية تجاه قلب القبة، وأحدثها نحو الأطراف، ويطلق على هذا التتابع في علم الطبقات تعبير (قديث Inlier)، على العكس تبدو أحدث التكوينات وأقدمها تجاه الأطراف ويطلق على هذا التتابع تعبير «حديم Outlier» (شكل رقم: ١ ـ ٧).



(شكل رقم: ١ ـ٧) جيولوجية مناطق القباب

وتتصف التقببات التي تنتج عن هذه الحركة بأنها قباب قوسية الشكل

Broad domal warps تحدث في مناطق الصخور الطبقية، ويدل عليها تقوس لطيف بطبقات الصخور على نطاق إقليمي، قد يكون من الضآلة بحيث لا تدرك العين المجردة الميل للوهلة الأولى حتى لتبدو الطبقات وكأنها أفقية تماماً. وتعد جيولوجية مثل هذه المناطق الدليل على وجود التركيب القبابي، وذلك حيثما وجدت تكوينات صخرية قديمة في منطقة مركزية تحيطها حلقات من تكوينات أحدث. ومن أمثلتها قبة أبي رواش إلى الغرب من أهرامات الجيزة بجمهورية مصر العربية.

ب ـ الحركات السريعة أو المفاجئة

وتشمل الحركات الزلزالية أو حركات الهبوط والارتفاع التي تصاحبها، وحركات انزلاق بعض طبقات القشرة الأرضية على بعضها الآخر، وقد تكون هذه الحركات سبباً في حدوث الزلازل أو تكون نتيجة من نتائجها. وتعتبر الثورانات البركانية كذلك نوعاً من أنواع الحركات الأرضية المفاجئة (راجع الفصل الخامس من هذا الكتاب).

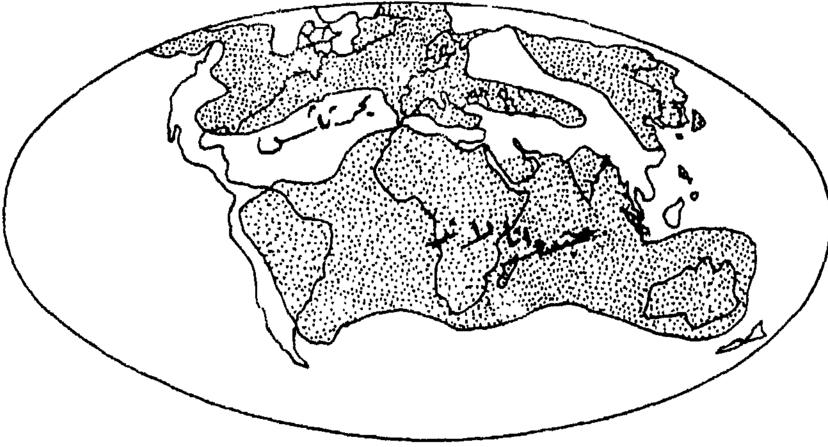
أسباب حركات القشرة الأرضية

تكلمنا عن عدم استقرار القشرة الأرضية والآثار التي تنجم عن الحركة الدائمة لهذه القشرة. هذه الحركة التي كانت عاملاً رئيسياً في تكوين القارات وأنواع التضاريس العظيمة فوق القشرة الأرضية. ولعلنا الآن نتساءل ما هي الأسباب التي تؤدي إلى حدوث الحركات المختلفة في القشرة الأرضية؟ تعددت النظريات والآراء الخاصة بالإجابة على هذا التساؤل. وسنحاول هنا تفسير أهم تلك النظريات والآراء. فهناك النظرية القديمة التي تؤمن بانكماش الأرض Contraction Theory. وهي مبنية على أن الأرض آخذة في الانكماش الذي ينشأ عن تناقص حرارتها وينتج عن ذلك حدوث تقلصات تنتج عنها أحواض البحار

القديمة وسلاسل الجبال المعروفة وذلك لأن ثقل القشرة الأرضية لا يسمح بتكون فراغ ما بين الباطن المنكمش والقشرة المرتكزة عليه فتثنى القشرة نحو الباطن وتحدث بها التواءات وانكسارات يتغير معها وجه الأرض. ويعتبر جفريز Jeffreys من أكبر أنصار نظرية الانكماش إذ أنه يرى أن تقلص باطن الأرض يرجع لعاملين رئيسيين هما البرودة التدريجية التي تصيب جسم الأرض، وبطىء الأرض في دورانها حول نفسها، حيث يقول: أن سرعة الأرض قد قلت عن ذي قبل وتبع هذا أن درجة انبعاج الأرض عند الاستواء وفلطحتها عند القطبين قد قلت عن ذي قبل، أي أن الأرض قد انكمشت وصغر حجمها، وبالتالي أدى ذلك إلى حدوث حركات في قشرة الأرض نتج عنها تكون السلاسل الجبلية الالتوائية. وذكر جفريز أيضاً أن القشرة الأرضية لكي تنطبق على الكتلة الداخلية فإنها تتعرض لضغوط جانبية نتج عنها الالتواءات والانكسارات وزحف بعض أجزائها على البعض الآخر. وقد حاول جفريز أيضاً تعليل تكوين الجبال الالتوائية في دورات متعاقبة أو في أوقات متباعدة يفصلها فترات تكون متساوية في الزمن، بأن ذكر بأن الضغوط التي تتولد في قشرة الأرض لا تؤدي إلى تكوين الجبال الالتوائية إلا بعد أن تتجمع ويصير لها من القوة ما يزيد عن مقدرة الصخور على المقاومة. ولقد تعرض رأي جفريز لعدة اعتراضات منها: أن انكماش الأرض نتيجة بطء سرعة دورانها كان من الصغر بحيث لا يؤدي إلى حركات عظيمة في القشرة الأرضية تساعد على تكوين مناطق التوائية عظيمة المساحة. وهناك أيضاً اعتراضات جيولوجية خاصة بنظام الدورات المتعاقبة التي تكونت فيها السلاسل الجبلية الالتوائية. وبناء على ذلك فإنه لا يمكن القول بأن الانكماش والتقلص وحده هو العامل المسؤول عن تكوين الجبال بل لا بد من وجود عوامل أخرى تساهم معه في تكوينها.

وهناك عدة نظريات أخرى تؤمن بأن القشرة الأرضية غير مستقرة أي غير ثابتة تتفق على أن كتل القارات تتزحزح عن مواضعها، ونتيجة لذلك تبتعد الكتل بعضها عن بعض في جهات، وتقترب بعضها من بعض في جهات أخرى،

فتضغط على ما بينها من الرواسب التي تلتوي وتعلو فوق سطح البحر وتتكون منها سلاسل الجبال الالتوائية العظيمة وتسعى هذه النظريات إلى تفسير ظاهرتين هامتين هما توزيع اليابس والماء (الذي سبق ذكره) وتكوين سلاسل الجبال العظمى. وسوف نشرح النظريات الحديثة التي تعرضت لتفسير هاتين الظاهرتين، وهي مجموعة النظريات التي ظهرت في النصف الأول من هذا القرن. وهذه المجموعة من النظريات تكمل بعضها البعض ولا تزال تؤثر في الفكر الجغرافي المعاصر حول الأسباب التي تؤدي إلى حركات القشرة الأرضية. وقبل أن نبدأ في دراسة هذه النظريات يجدر بنا أن نشير إلى مشكلة البحار الجيولوجية أو البحار الإرسابية (أو الأحواض التكتونية) Geosynclines التي تبرز دائماً أثناء معالجة هذه النظريات. وهذه البحار الجيولوجية عبارة عن طية أو ثنية التوائية مقعرة غالباً ما تكون مستطيلة، قد تتم نشأتها على مستوى الأرض كلها (انظر الفصل الثامن)، وهي تمتلىء بالرواسب من اليابس



(شكل رقم: ٢ ـ ٧) قارات العالم في نهاية الزمن الجيولوجي الأول
(زمن الحياة القديمة)



(شكل رقم: ٣ ـ ٧) وضع القارات قبل بداية تزحرحها (المساحات الداكنة اللون تدل على توزيع الكتل الصلبة القديمة التي عمرها يزيد على ١,٧ بليون سنة)

المجاور. وتضم هذه الطية أو الثنية ليس فقط طبقة السيال بل تضم طبقة السيما كذلك. وهي بذلك تختلف عن الالتواءات المقعرة في الطبقات الرسوبية Synclines. وترجع تسمية البحار الإرسابية Geosynclines إلى الجيولوجي الأمريكي دانا J.D. Dana عام ١٨٧٣ الذي أطلقها على الأجزاء الهابطة التي يوجد بها إرسابات تعرضت للالتواء. ويعرف الجيولوجيون البحار الجيولوجية على أنها «أجزاء من القشرة الأرضية تعرضت أو تتعرض لحركة ضغط، غالباً ما تكون حركة هبوط، يتم فيها ظهور أو تكوين الجبال المتضاغطة أي «الأوروجينية». ويطلق كراوس Kraus ـ الجيولوجي الألماني ـ على الجبال في مرحلة النشأة في ذلك الجزء الهابط اسم الجبال الأوروكينية Orokenese، تمييزاً لها عن الجبال الالتوائية التي تظهر فوق مستوى سطح البحر. وبصفة عامة، يميز الجيولوجيون بين نمطين من البحار الجيولوجية أو البحار الإرسابية: نمط تظهر

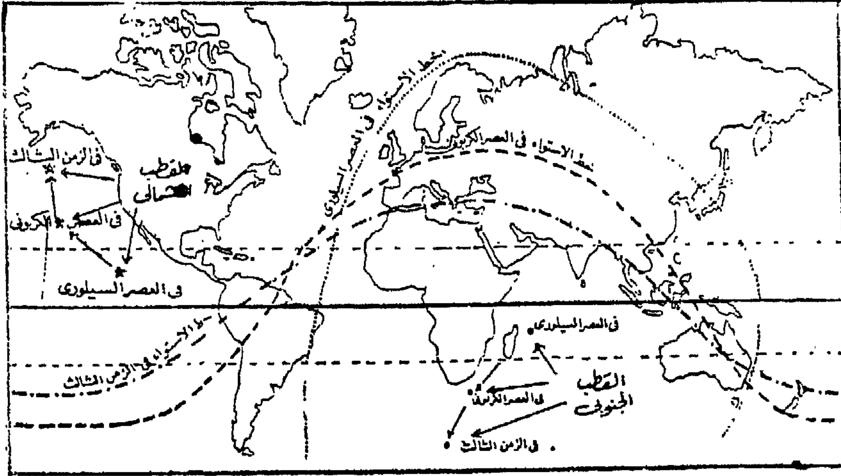
به حركات بركانية بسيطة، وآخر تعد البراكين من أهم مظاهره الأساسية.

(١) نظرية فجنر Wegner (نظرية زحزحة القارات) Continental Drift

تتلخص هذه النظرية في أن قارات الأرض الموجودة حالياً كانت كلها كتلة واحدة سماها بنجايا[1] Pangaea، وكانت هذه الكتلة تتكون من قسمين: القسم الشمالي ويشمل أوراسيا وأمريكا الشمالية، والقسم الجنوبي ويشمل أفريقيا وأمريكا الجنوبية واستراليا وانتاركتيكا، وكان يفصل بين هذه القسمين بحر داخلي يسمى بحر تشس Tethys. ويعتقد فجنر ـ صاحب هذه النظرية ـ أن كتلة بنجايا في العصر الفحمي في الزمن الجيولوجي الأول كانت مركزه حول القطب الجنوبي لها الذي يقع في منطقة ناتال بجنوب أفريقيا، وكانت أطرافها الشمالية تقع قرب خط الاستواء الذي كان يمر في المناطق التي تشغلها الآن التكوينات الفحمية التي توجد في الحزام الممتد في شرق أمريكا الشمالية وفي وسط أوروبا ومرتفعات الصين الشمالية (شكل رقم: ٤ ـ ٧)، أي أن هذه المناطق كانت عبارة عن مناطق من الغابات الاستوائية تحولت أشجارها فيما بعد إلى تكوينات فحمية، ثم حدث مع بداية الزمن أن تكسرت كتلة بنجايا وأخذت أجزاؤها المنكسرة في التزحزح عن أماكنها (شكل رقم: ٥ ـ ٧). وحسب رأي فجنر فإن هذا التزحزح حدث نتيجة لقوتين مختلفتين: قوة الطرد التي دفعت الكتل المنكسرة نحو خط الاستواء أي نحو الشمال فتزحزحت بفعلها استراليا من الهندوبلاد العرب وإفريقية، وقوة المد التي تتولد نتيجة الجذب الشمس والقمر للأرض وهذه القوة دفعت بعض الكتل المنكسرة نحو الغرب من نتيجتها تزحزح الأمريكتان.

---

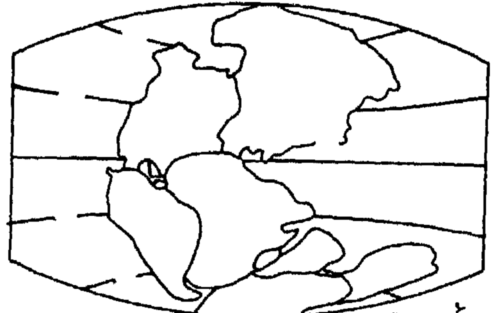
(١) تعني كلمة Pangaea (بنجايا) «كل الأرض» حيث:
أرض = gaea = ge، كل = pan = all



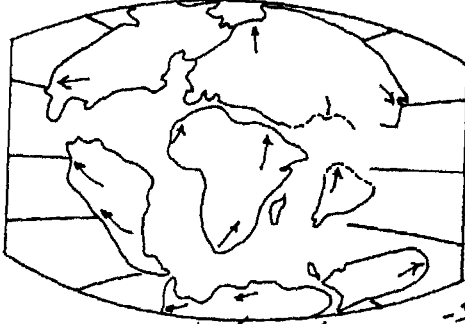
(شكل رقم: ٤ ـ ٧) موقع خط الاستواء والقطبين في بعض العصور الجيولوجية

وقد استطاع فجنر أن يفسر بهذه النظرية وجود آثار جليدية في جنوب أفريقية وفي استراليا والهند والبرازيل وهي مناطق أبعد ما تكون الآن عن المناطق التي تتغطى بالجليد، أي أنها كانت كلها منطقة واحدة مركزة حول القطب الجنوبي حيث كانت الأحوال المناخية الباردة هي السائدة. ومن الواضح أن وجود مظاهر المناخ المداري في أوروبا ومظاهر المناخ القطبي في جنوب إفريقية يعتبر دليلاً قوياً على أن اليابس كان أبعد إلى الجنوب منه في الوقت الحاضر حتى أن خط الاستواء كان في ذلك الوقت (أي في أواخر الزمن الجيولوجي الثاني)، يمر في وسط أوروبا تقريباً، بينما كان جنوب إفريقيا قريباً من المنطقة القطبية الجنوبية (شكل رقم: ٤ ـ ٧).

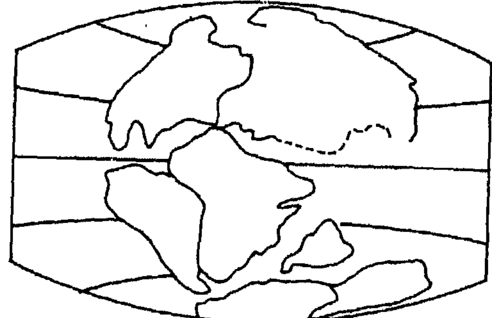
كما فسرت النظرية التشابه بين سواحل شرق المحيط الأطلسي وغربه، وخاصة سواحل غرب إفريقية وسواحل شرق أمريكا الجنوبية، وهذا يوضح أن الساحلين كانا متلاصقين. كذلك فسرت تشابه مرتفعات الكاب في جنوب



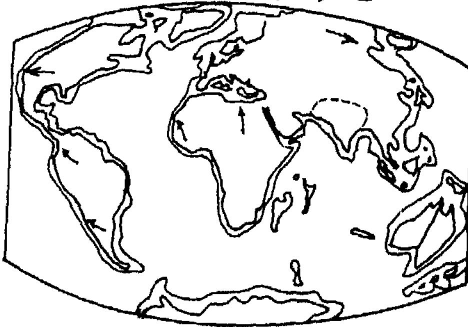
أ- فى العصر البرمى



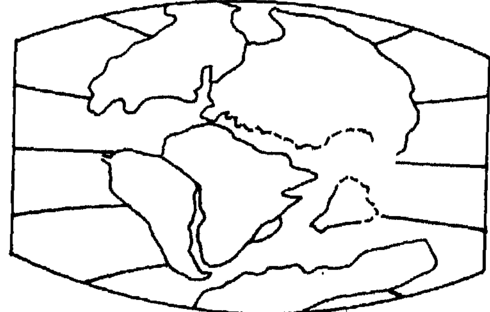
و- فى أواخر الكريتاسى



ب- فى أواخر الترياسى



هـ- فى الوقت الحالى

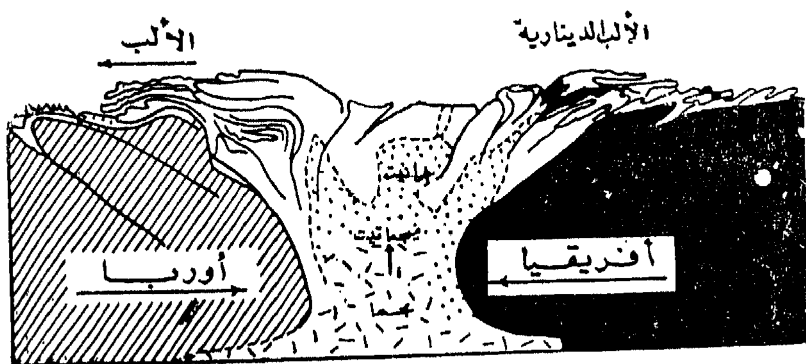


جـ- فى أواخر الجوراسى

(شكل رقم: ٥ ـ ٧)تطور توزيع اليابس والماء خلال العصور الجيولوجية
حسب تفسير فجنر (نظرية زحزحة القارات)

إفريقية مع مرتفعات فتنانا Vetnana في الأرجنتين، وأيضاً تشابه مرتفعات البرازيل الجنوبية مع مرتفعات جنوب غرب أفريقية، وتشابه مرتفعات الإبلاش مع مرتفعات جنوب ويلز وغرب انجلترا وشمال غرب فرنسا. ويرجع ذلك إلى أن اليابس في شرق المحيط الأطلسي كان متلاصقاً لليابس في غربه إذ كان الجانبان يكونان كتلة واحدة. وقد استطاع فجنر أن يفسر أيضاً تكوين السلاسل الجبلية على أساس أن الكتل اليابسة عندما اقتربت من بعضها أثناء تزحزحها نشأ عن اقترابها التواء الطبقات الرسوبية الموجودة في البحار الداخلية نتيجة لضغط الكتل الزاحفة عليها. ومن هذه الطبقات الملتوية تتكون السلاسل الالتوائية. ومعنى ذلك أن جبال الألب قد تكونت نتيجة لزحف قارة إفريقية نحو أوروبا فضغطت على الطبقات الرسوبية في قاع بحر تشس الذي كان يفصل بين القارتين (شكل رقم: ٦ ـ ٧). وبالمثل تكونت جبال الهملايا في آسيا وجبال الروكي والأنديز في الأمريكتين.

ولكن نظرية فجنر كغيرها من النظريات وجهت إليها اعتراضات كثيرة منها



(شكل رقم: ٦ ـ ٧) كيفية نشأة جبال الألب حسب نظرية فجنر لزحزحة القارات

مثلاً أن: انطباق الساحل الغربية لأفريقية على الساحل الشرقي لأمريكا الجنوبية الطريقة التي يراها فجنر أمر متعذر، فهناك فرق مقدار ١٥ درجة في الانفراج الواقع بين ضلعي ساحل غانة من جهة والانفراج الذي ينحصر بين ضلعي ساحل البرازيل من جهة أخرى. كما أن القوتين اللتين اعتبرهما فجنر السبب في الزحزحة ليستا بالشدة بحيث تقدران على دفع الكتل القارية أو زحزحتها. والنظرية أيضاً لا تعلل تعليلاً مقبولاً الطريقة التي تكونت بها جبال الروكي والانديز غرب الأمريكتين.

ولكن على الرغم من كل هذه الاعتراضات، فإن نظرية فجنر تكتسب أهمية خاصة إذ أنها كانت أول نظرية فسرت مظاهر سطح الأرض بوجه عام سواء ما تعلق بتوزيع اليابس والماء، أو تكوين السلاسل الجبلية على أساس جديد يتفق مع المعلومات الحديثة التي عرفناها عن جوف الأرض.

(٢) نظرية جولي Joly (نظرية الحرارة الناتجة عن تفاعل الراديوم)

Thermal Hypothesis of Radio - Activity

تتعرض هذه النظرية مثل نظرية فجنر لتفسير ظاهرتي زحزحة القارات وتكوين الجبال. والأساس الذي بنيت عليه هو الحرارة الناتجة عن تفاعل عنصر الراديوم الموجود في قشرة الأرض وأثر هذه الحرارة في مادة السيما التي ترتكز فوقها كتل القارات.

وتتلخص هذه النظرية في أن تفاعل عناصر الراديوم في قشرة الأرض يولد حرارة تكفي لتعويض ما تفقده الأرض من الحرارة بالاشعاع بل وزيادة، وهذا معناه أن باطن الأرض لا يفقد شيئاً من حرارته وأن ما يزيد من الحرارة المولدة في قشرة الأرض عما تفقده الأرض بالاشعاع يتجمع بمضي الزمن ويزداد تدريجياً زيادة تساعد في النهاية على انصهار المادة البازلتية التي ترتكز عليها كتل القارات وتحويلها إلى جسم سائل. وإذا تحولت المادة البازلتية التي ترتكز

عليها الكتل القارية إلى مادة سائلة ساعدت قوى المد ـ الناشئة عن جذب الشمس والقمر للأرض ـ على زحزحة الكتل القارية نحو الغرب.

أما الطريقة التي يفسر بها Joly، تكوين السلاسل الجبلية فيمكن تلخيصها فيما يلي:

(١) عندما تتحول المادة البازلتية التي ترتكز عليها القارات من الحالة الصلبة إلى الحالة السائلة تصبح أقل كافة مما كانت عليه أولاً، ويؤدي هذا إلى هبوط كتل اليابس في مادة السيما هبوطاً ينتج عنه طغيان مياه المحيطات المجاورة على الأجزاء المنخفضة من القارات وتكوين بحار داخلية، وهذه هي البحار التي تتراكم فيها الرواسب التي تكون بعد التوائها السلاسل الجبلية.

(٢) يؤدي انصهار المادة البازلتية في المناطق المحيطة إلى زيادة حجم تلك المادة وبالتالي إلى انتفاخ القاع وابتعاده عن مركز الأرض. وينتج عن هذا الانتفاخ تشقق في قاع المحيطات وخروج اللافا بكثرة، في الشقوق الناشئة، يعد تنفيساً عن المادة البازلتية المحبوسة كما يعد عاملاً يؤدي إلى هبوط حرارتها.

(٣) تساعد سيولة المادة البازلتية على زحزحة الكتل القارية من مواضعها الأولى، وكشف المادة البازلتية الحارة، التي كانت تغطيها تلك الكتل لماء المحيط البارد الذي يحل فوقها محل الكتل اليابسة بعد أن تتزحزح، يعمل على تبريد المادة البازلتية. أي تأخذ في التصلب والتجمد.

(٤) ينجم عن هذا التصلب أن كثافة المادة البازلتية تعظم فينشأ عن ذلك ارتفاع الكتل القارية المغمورة فيها، وانحسار مياه المحيطات عن القارات فتختفي البحار الداخلية.

(٥) ينجم عن التصلب أيضاً أن قاع المحيطات يأخذ في الهبوط نحو مركز الأرض نظراً لانكماش المادة البازلتية التي يتكون منها واندماج جزئياتها

بعضها في بعض، ويصحب هذا الهبوط أن تضغط أطراف الكتل البازلتية الصلبـة التي يتكون منها قاع المحيطات على أطراف الكتل القارية فيؤثر ذلك في الطبقات الرسوبية التي تراكمت على تلك الأطراف فيساعد على التوائها، ومن هذه الطبقات الرسوبية الملتوية تتكون السلاسـل الجبلية.

(٦) يبقى الحال على ذلك إلى أن ترتفع حرارة المواد البازلتية من جديد، فتنصهر، وينتج عن انصهارها هبوط الكتل اليابسة في مادة السيما السائلة وانتفاخ قاع المحيطات، ويصحب هذا الهبوط وذلك الانتفاخ طغيان مياه المحيطات على القارات، وتكوينها لبحار داخلية من جديد، وهكذا تبدأ الدورة مرة ثانية.

ويقدر جولي الوقت الذي يلزم لتجمع الحرارة الكافية لصهر السيما، ثم الوقت الذي يكفي لتسرب الحرارة من السيما، ورجوع هذه المادة إلى حالة صلبة كما كانت أولاً، بنحو ٦٠ مليون سنة.

ولهذه النظرية: أهمية في تفسير ظاهرة هامة في تضاريس الأرض، وهي وجود الجبال الالتوائية المرتفعة بمواجهة المناطق المحيطية المنخفضة، ويمثل ذلك نطاق المرتفعات الذي يمتد حول المحيط الهادي. Circum Pacifie Mountains. ويمكن القول، تبعاً لهذه النظرية، إن هذا النطاق المرتفع قد تكون نتيجة لضغط كتلة السيما التي يتكون منها قاع المحيط الهادي على جوانب الكتل القارية المجاورة عندما أخذت السيما في البرودة، ثم التقلص، ثم الهبوط نحو مركز الأرض.

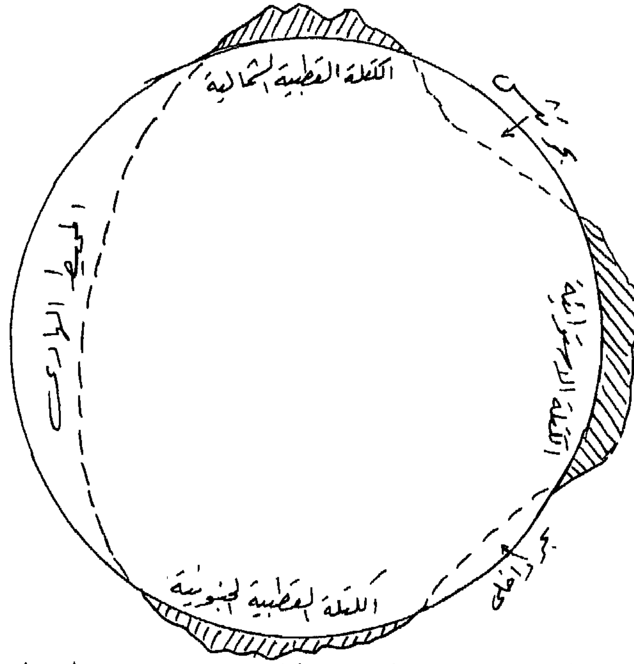
وعلى الرغم من أن هذه النظرية مقنعة في تفسير تكوين الجبال، إلا أنها في الواقع لا تستطيع تفسير الظواهر الساحلية للمحيط الأطلسي، وكيف أن الساحل الشرقي لهذا المحيط مكمل للساحل الغربي، ثم إن تحديد الدورات التي تتكون منها الجبال وجعلها في فترات منتظمة طول كل منها ٦٠ مليون سنة

أمر لا ينطبق على الحقيقة، لأن الجبال تتكون في كل وقت زحزحة دون تحديد. وفضلاً عن ذلك فإن قوى المد التي يظن جولي أنها السبب في زحزحة القارات نحو الغرب ليست من الكفاية بحيث تقدر على زحزحة هذه القارات.

(٣) نظرية ديلي Daly (نظرية انزلاق القارات Sliding of the Continents).

بنيت هذه النظرية على أساس قوة جذب الأرض لقشرتها وأثر ذلك في انزلاق الكتل القارية على ما تحتها من تكوينات كما لو كانت تنزلق على سطح منحدر، ومعنى ذلك أن قوى المد ليس لها أدنى أثر في تحرك القارات.

ويعتقد ديلي أن كتل اليابس كانت مركزة في الأزمان القديمة في القديمة في نصف واحد من كوكب الأرض، أما النصف الآخر فكان يشغله المحيط الهادي وكان يطلق على النصف اليابس اسم بانجايا Pangaea. وعلى النصف المائي اسم Panthalassa. ويعتقد كذلك أن اليابس لم يكن كتلة واحدة بل كان ثلاث كتل منفصلة: واحدة في الشمال مركزة حول القطب الشمالي، وواحدة في الجنوب مركزة حول القطب الجنوبي، وواحدة في الوسط مركزة عند خط الاستواء، ويعتقد أن الكتل القارية الثلاث كانت تفصلها مناطق منخفضة، تشغلها بحار جيولوجية داخلية عظمى «Geo - synelines»، فالبحر الذي يفصل الكتلة الشمالية عن كتلة خط الاستواء يعرف ببحر تش، أما البحر الذي يفصل الكتلة الجنوبية عن الكتلة الاستوائية فلا يعرف عنه شيء. ويعتقد أن توزيع اليابس والماء على النحو السابق يرجع إلى التواء قشرة الأرض الصلبة على باطنها الذي ينكمش، نتيجة تناقص حرارته المستمرة، فكأن الكتل اليابسة في نظره تمثل التواءات محدبة على شكل قباب، أما البحار الداخلية هي والمحيط الهادي فتمثل التواءات مقعرة ذات أشكال حوضية (شكل رقم ٧ ـ ٧).



(شكل رقم: ٧ ـ ٧): كتل اليابس حسب وجهة نظر ديلي

وقد تعرضت هذه الكتل اليابسة لعدة حوادث متعاقبة أدت إلى تكسرها ثم انزلاق أجزائها المتكسرة، وذلك على النحو التالي:

(١) تؤثر عوامل التعرية في الكتلة اليابسة فتزيل بعض أجزائها وتلقيها في البحر الداخلي المجاور.

(٢) تؤثر كثرت الرواسب في قاع البحر الداخل عن طريق ثقلها في قشرة الأرض مما يجعل قاع البحر يهبط إلى أسفل أي نحو مركز الأرض.

(٣) ينتج عن هذا الهبوط ضغوط جانبية تساهم في حمل القبة التي تتكون منها كتلة القارة المجاورة، وبهذه الطريقة يخف ضغط هذه القبة على ما تحتها من مواد بازلتية.

(٤) إذا خف الضغط على المواد البازلتية التي ترتكز عليها القبة القارية ساعد

ذلك على كبر حجم هذه المواد، وإذا كبر حجم المواد البازلتية الموجودة أسفل القبة القارية ساعد ذلك على رفع القبة إلى أعلا.

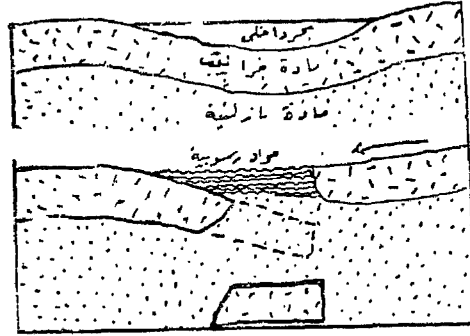
(٥) باستمرار هذه العملية، وإذا ظلت القبة اليابسة ترتفع وظلت منطقة البحر الداخلي تهبط فأن الكتلة اليابسة تنكسر في منطقة الهبوط، وذلك لأن قشرة الأرض لها طاقة في الالتواء لا يمكن أن تتعداها.

(٦) وإذا انكسرت القشرة في منطقة في الهبوط فقدت جوانب القبة القارية القاعدة الصلبة التي كانت ترتكز عليها ولا تجد ما ترتكز عليه بعْد ذلك غير المواد اللينة التي توجد تحت القشرة.

(٧) يعقب ذلك أن جوانب الكتلة القارية تنكسر لثقلها ثم تنفصل وتأخذ الأجزاء المتكسرة في الانزلاق نحو البحار الداخلية المجاورة (شكل رقم: ٨ ـ ٧).

(٨) وإذا انزلقت جوانب القباب اليابسة نحو البحار فإنها تضغط على الرواسب المتراكمة على قاع هذه البحار وتسبب التواءها فتتكون من ذلك سلاسل الجبال.

هذه هي الطريقة التي يعلل بها ديلي تحرك الكتل القارية عن مواقعها، ويعلل بها تكوين الجبال، فالأمريكتان ـ في نظره ـ وكذلك الكتل اليابسة الأخرى التي تطل على المحيط الهادي قد انزلقت جميعاً نحو المنخفض الذي كان المحيط الهادي يشغله وقد نتج عن هذا الانزلاق أن التوت الطبقات الرسوبية التي أزالتها التعرية من سطح القارات وأرسبتها في جوانب المحيط الهادي، وقد نتج عن هذا الالتواء تلك الحلقة الجبلية التي تحيط به. وبنفس الطريقة انزلقت الأطراف الجنوبية من القارة القطبية الشمالية والأطراف المقابلة لها من القارة الاستوائية نحو بحر تشس «Tethys» فتكون من ذلك جبال الألب وجبال الهيملايا. والمحيط الأطلسي في نظره هو الآخر أخدود متسع نتج عن انزلاق الأمريكتين نحو منخفض المحيط الهادي، ويشبهه في ذلك المحيط الهندي فهو عبارة عن أخدود نتج عن انكسار القبة التي كانت تتكون منها الكتلة



(شكل رقم: ٨ ـ ٧) انكسار الكتل اليابسة من منطقة الهبوط حسب رأي ديلي

القطبية الجنوبية وانزلاق أحد جوانب هذه القبة نحو بحر تشس. وكذلك المحيط المتجمد الشمالي فهو في نظره عبارة عن أخدود واسع نتج عن تكسر الكتلة القطبية الشمالية وانزلق أحد جوانب هذه الكتلة نحو بحر تشس وانزلق الجانب الآخر نحو المحيط الهادي.

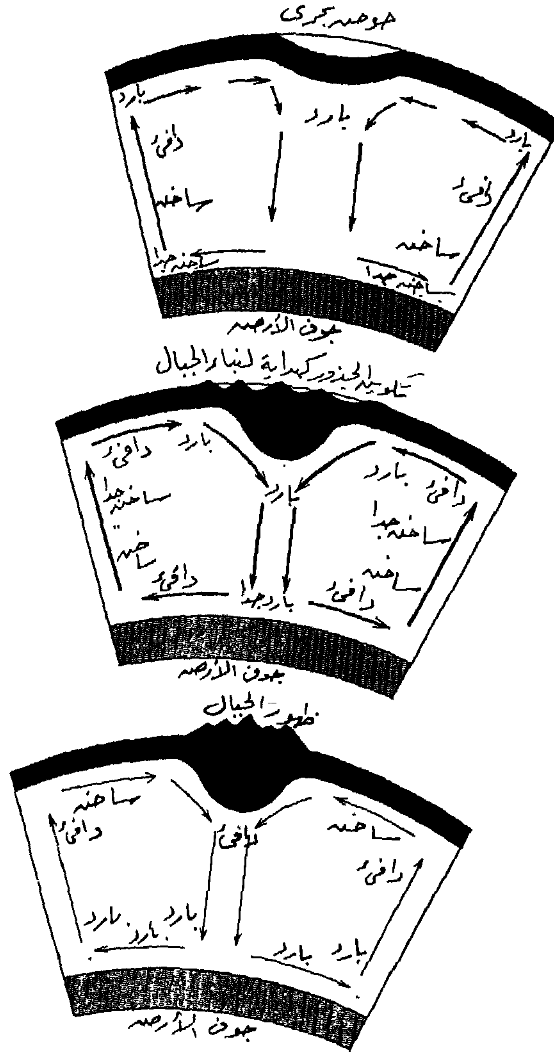
وليس هناك اعتراض على هذه النظرية سوى أنها لم توضح العوامل التي ساعدت على وجود نصف قاري من كوكب الأرض «Pangaea» ونصف مائي. أما بخصوص القوى التي ساعدت على تحرك الكتل اليابسة فقد أوضحت هذه النظرية أن قوة جذب الأرض لجوانب القباب القارية أقدر على زحزحة هذه الجوانب من قوى المد التي قدمها كل من فجنر وجولي كعامل يؤدي إلى زحزحة القارات.

(٤) نظرية هولمز Holmes (التيارات الصاعدة Convection Currents)

وهي أحدث النظريات التي تقوم بتفسير الظواهر التضاريسية، وأكثرها شمولاً، إذ أنها لا تقتصر على تفسير طريقة بناء الجبال فحسب بل تتعداها إلى جميع الظواهر الأخرى بما فيها ظاهرة الزحزحة نفسها. كما أنها أصبحت منذ نهاية الخمسينيات من هذا القرن النظرية التي يعمل في ضوئها جميع الباحثين في الجيولوجيا وخاصة المهتمين بنشأة الجبال.

وتعتمد النظرية اعتماداً كلياً على مقدار ما يتولد في قشرة الأرض وفي ما تحت هذه القشرة من حرارة نتيجة لتفاعل عناصر الراديوم التي توجد فيها. فلو أن ما يتولد في القشرة من حرارة بفضل هذا العامل يتعادل مع ما تشعه هذه القشرة تولدت في ما تحت القشرة حرارة تساعد على بقاء المواد المكونة لها في حالة تسمح بتكوين تيارات فيها.

وتقدم بهذه النظرية الجيولوجي الانجليزي آرثر هولمز A. Holmes يشرح بها تزحزح الكتل القارية. ولكي نتصور ما حدث لكوكب الأرض من جراء هذه الزحزحة، فإننا لو وضعنا سائلاً غليط القوام في إناء وأشعلنا تحته موقد فإن حرارته ترتفع وتعمل الحرارة القادمة من أسفل على دوران السائل دوراناً بطيئاً ثم يتعرض سطح هذا السائل لتيارات تصاعدية ساخنة في الوسط تقريباً تتجه بعد ذلك أفقياً نحو الأطراف، وهي في أثناء ذلك تزيح الزبد الناتج عن الغليان في طريقها، ثم تتخذ هذه التيارات مرة أخرى في الهبوط، وعند هبوطها يتراكم الزبد عن الأطراف لخفة وزنه ولا يهبط مع هبوط التيارات الساخنة. وهذا ما حدث كما يعتقد هولمز للأرض عندما كانت في حالة السيولة (شكل رقم: ٩ ـ ٧). فقد حدثت تيارات حرارية صاعدة مبعثها حرارة الباطن الشديدة. ويرى هولمز أن الأرض تستطيع أن تعوض حرارتها التي تفقدها للاشعاع عن طريق الاشعاع الراديومي الذي ينتج عن وجود معدن الراديوم في صخور بطن الأرض. كما أن مناطق الالتحام السيال بالسيما تتولد حرارة راديومية ينتج عنها تحول



(شكل رقم: ٩ ـ ٧) تفسير نظرية التيارات الصاعدة في تكوين الأحواض البحرية العظمى ومناطق الجبال الالتوائية الكبرى.

صخور هذه الأجزاء إلى حالة منصهرة، كل ذلك يساعد على تكوين تيارات صاعدة وأخرى هابطة إلى الباطن (شكل رقم: ١٠ ـ ٧).

وبين هولمز صاحب نظرية التيارات الصاعدة وجود الآثار الجليدية التي تنتمي للعصر الفحمي في جهات متفرقة من أفريقية والهند واستراليا وأمريكا الجنوبية والتي ما كانت توجد في هذه الأماكن لو أنها كانت غير متصلة ببعضها، أي أنها كانت كتلة واحدة ثم انفصلت وتزحزحت عن بعضها. ولذلك فقد رسم هولمز صورة للعالم في أواخر الزمن الأول نشرحها فيما يلي:

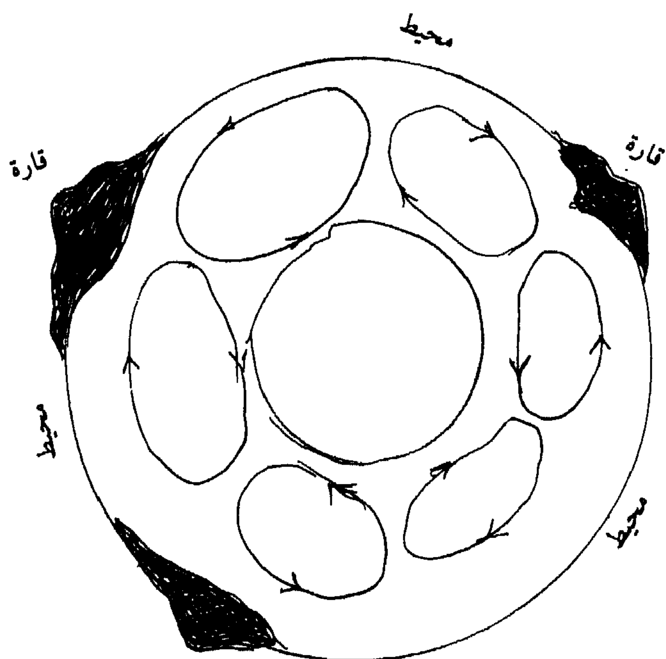
١ـ كانت نقطة القطب الجنوبي مركزه في منطقة ناتال بجنوب أفريقية وكانت جزءاً من قارة جندوانا لاند.

٢ ـ كانت هناك منطقتان بحريتان هما بحر تشس والمحيط الهادي الذي كانت مساحته تفوق مساحة بحر تشس.

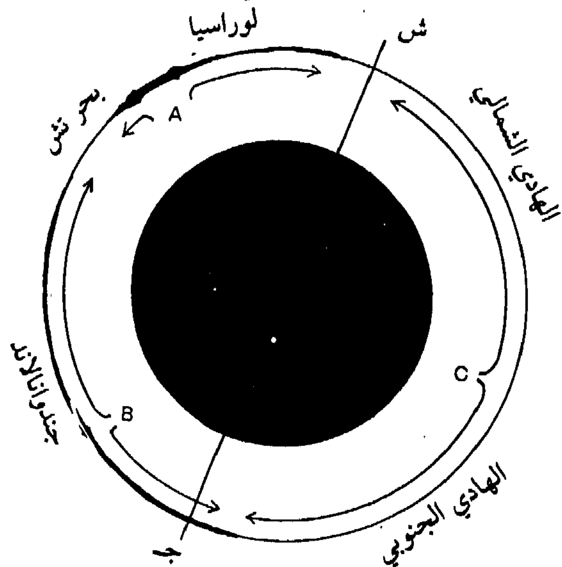
٣ ـ كانت هناك كتلتان قاريتان، عظيمتان في المساحة هو كتلة لوراسيا وجندوانا لاند وكانت الأخيرة أعظم مساحة من الأولى (شكل رقم: ١١ـ٧).

٤ ـ نشأت تيارات صاعدة تحت كل من الكتلتين القارتين ثم توزعت نحو المناطق البحرية التي كانت تحيط بهما. واستطاعت هذه التيارات أن تدفع منطقة أفريقية الجنوبية بعيداً عن القطب أي نحو الشمال، واستطاعت أن تزحزح الهند أيضاً من المنطقة القطبية التي كانت توجد فيها في العصر الفحمى وتدفعها نحو الشمال فتكونت بذلك سلاسل الهملايا الالتوائية في الشمال بين كتلة التبت وكتلة الهند وتكون المحيط الهندي في الجنوب. وترى النظرية أن زحزحة كتلة استراليا لمسافة كبيرة ترجع إلى التيارات القوية التي تكونت تحت المحيط الهندي لم يكن أمامها أي عقبات من دفعها بعيداً.

وبناء على ذلك فإن كتلة لوراسيا وجندوانالاند قد تمزقتا واتجهت أجزاؤها نحو المحيط الهادي من جهة ونحو تشس من جهة أخرى فنشأ عن ذلك



(شكل رقم: ١٠ ـ ٧) التيارات الصاعدة في باطن الأرض حسب رأي هولمز



(شكل رقم: ١١ ـ ٧) أثر التيارات الانقلابية على توزيع اليابس والماء على سطح الأرضية.

تكوين السلاسل الالتوائية حول هذه الكتل الممزقة، أما في وسط لوراسيا فقد تكون المحيط الأطلسي الشمالي والمحيط المتجمد الشمالي في الفراغ الذي نشأ نتيجة لضيق الكتلة وابتعاد أجزائها عن بعض. وعلى أطراف جندوانا لاند تكونت سلاسل الانديز، أما في وسط الكتلة فقد تكون المحيط الأطلسي الجنوبي نتيجة لابتعاد أمريكا الجنوبية عن أفريقية.

وقد استطاع هولمز بنظريته أن يفسر جود الآثار الجليدية التابعة للعصر الفحمي في الجهات التي توجد فيها في جنوب أفريقيا والهند واستراليا، كما استطاع أن يفسر تكوين الجبال الالتوائية الحديثة في جهات العالم المختلفة. ولهذه النظرية أهمة خاصة لأنها تسمح بتحرك الكتل القارية في اتجاهات عديدة ولأن التيارات التي تفترضها لها من القوة ما تستطيع أن تزحزح به الكتل المختلفة.

(٥) نظرية ديراك P.A. Dirac (نظرية تمدد الأرض)

نادى بهذه النظرية عالم الفيزياء الانجليزي بول ديراك عام ١٩٣٧. وهو يفترض أن الأرض تتمدد نتيجة تناقص تدريجي في الجاذبية في الكون، مما يزيد من أثر قوة الطرد المركزية. وبالتالي يؤثر ذلك في تطور الأرض، فالجاذبية الكونية التي تجعل الأرض تتماسك كجسم مع بعضها، تتغير على مستوى زمني طويل يقدر بمليارات من السنين، وبالتالي فإن الأرض تمر في مراحل مستمرة من التمدد الذي قدره ديراك بنحو نصف ملليمتر سنوياً.

وقد ظلت هذه النظرية فترة دون أن يهتم بها، ثم ظهرت مرة أخرى عام ١٩٥٨ عندما نادى بها عدد من الباحثين على رأسهم العالم وارن كاري Warren Cary الذي اعتقد بأن قشرة السيال كانت متصلة اتصالاً كاملاً، وقد تكسرت تلك القشرة بسبب زيادة حجم الأرض الناتج عن تمددها الأمر الذي أدى إلى تفتق السيال وتوزيعه على محيط الأرض الذي ازداد مع التمدد، كما أدى ذلك إلى

تغير في شكل كتلها مع مرور الزمن. إلا أن كاري يرجع التمدد إلى زيادة في حرارة الأرض نتيجة للتحلل النووي في داخلها. ويعتقد أن الأرض قد بلغت في الزمن الباليوزوي (زمن الحياة القديمة) المتأخر ٧٥٪ من قطرها الحالي وأن وزنها النوعي كان ضعف الوزن النوعي الحالي. كما أن مساحة السطح قد تضاعفت منذ نهاية الزمن الباليوزوي. وقد شمل هذا التمدد قاع المحيط أكثر مما شمل القارات. وقد زادت مساحة أحواض المحيطات إلى ستة أضعاف مساحة القارات التي كانت تشغل ٨٠٪ من مساحة الأرض. ويستدل كاري على هذا التمدد بقلة الارسابات في قاع المحيط وكثرة البراكين والحواجز المحيطية.

ورغم عدم وجود أدلة قاطعة على تناقص الجاذبية أو زيادة في التحلل النووي يؤدي إلى تمدد الأرض، فإن كثيراً من الباحثين يقبلون النظرية، ويجدون فيها وسيلة سهلة لتفسير صورة الأرض التي يتصورونها ككوكب يتفجر ببطء. ويعززون اعتقادهم بأن هناك أشكالاً بنائية في القشرة توحي بتمددها وتفتقها، مثل الأخاديد، وخاصة الأخاديد البحرية التي يبلغ عمقها ١١ كيلومتراً أحياناً، التي تمتد مع امتداد الحواجز المحيطية لمسافة تقدر بآلاف الكيلومترات، والتي تمثل نطاقاً من الشد لا بد وأن يسبب تمدد في جسم الأرض. كما يرى أنصار هذه النظرية أنه مع زيادة التمدد يقل تقوس الكتل في القشرة، فيصبح أكثر استواءً في داخلها ولكن تلتوي أطرافها مما ينجم عنه نشأة النظم الجبلية في تلك الأطراف.

والنظرية وأن كانت قد نجحت في تفسير الأشكال البنائية الناشئة عن التمدد مثل الأخاديد العظمى سواء على اليابس أو في قشرة المحيط، إلا أنها تعجز عن تفسير نشأة الجبال الإلتوائية تفسيراً مرضياً ومناسباً.

(٦) نظرية نبض (خفقان) الأرض Earth Pulsation

سادت نظرية نبض أو خفقان الأرض في النصف الأول من هذا القرن بين

كثير من علماء الجيولوجيا وفي مقدمتهم الجيولوجي الألماني كراوس Kraus. وقد أوحت بنية قارة أفريقيا العليا ما بين أحواض يفصلها مرتفعات إلى الاعتقاد بأن الأرض تمر بمرحلة من التمدد بعد أن تمر من مرحلة من التقلص وهو ما أطلق عليه نبض الأرض. وقد عزز أنصار هذه النظرية رأيهم بظاهرة طغيان البحر وانحساره، ومن دورات بناء الجبال.

(٧) نظرية هارمان (نظرية ذبذبة الأرض) Earth Osciliation

نادى بهذه النظرية الجيولوجي الألماني هارمان Haarmann عام ١٩٣٠، وعرفت باسم النظرية الكونية، وترى هذه النظرية أن القوى الكونية تؤدي إلى اختلال في قوى التوازن في أغلفة الأرض الباطنية على ما يشبه المد والجزر، مما يؤدي إلى تجمع كتل الصهير (الماجما) في جزء من الإطار الهامشي للأرض وانحسارها في جزء آخر، وينتج عن ذلك انتفاخات أو تقببات في القشرة أطلق عليها هارمان اسم الأورام الأرضية Geotumore، كما تؤدي إلى انخفاضات أرضية Geodepression. وقد ثبت من الحسابات الفلكية أن طبقات الأرض الصخرية ـ وليست المياه وحدها ـ تتأثر بقوانين المد والجزر، وإن كانت القشرة لا تتأثر بنفس الدرجة التي تتأثر بها المياه. إلا أن مثل تلك الذبذبة التي يفترض بأنها منتظمة مع انتظام حركة النجوم والكواكب، لا تؤدي إلى هذا التشكيل الهائل في القشرة. كما أن النظرية لم تعطى تفسيراً لنشأة النظم الجبلية الإلتوائية ولدورات تكوينها المتباعدة.

من هذا العرض السريع للنظريات التي تعرضت لتفسير ظاهرة تزحزح القارات وانزلاقها من مواضعها التي كانت تشغلها، رأينا أن هذه النظريات جميعها قد بنيت على أساس واحد يتلخص في أن كتل القارات تتألف من مواد جرانيتية قليلة الكثافة ـ وهي التي عرفناها بطبقة السيال ـ وأن هذه الكتل ترتكز فوق مواد بازلتيه تزيد عنها في الكثافة، عرفت باسم السيما. وقد رأينا أيضاً أن القوى الدافعة التي تعزى إليها حركة القشرة الأرضية تختلف من نظرية إلى

أخرى. والذي يهمنا من هذه النظريات أنها جميعاً متفقة على أن قشرة الأرض متحركة وليست ثابتة وأنها عند تحركها تساعد على تكوين سلاسل الجبال الالتوائية عند أطراف الكتل القارية المختلفة.

مظاهر حركات القشرة الأرضية

في ضوء النظريات السابقة ـ التي درست أسباب حركات القشرة الأرضية ـ يمكن تتبع مراحل نشأة المظاهر الأرضية الفريدة والتي تتمثل في: القارات والمحيطات والأخاديد العظمى، والنظم الجبلية الأروجينية، والأحواض الكبرى وحواجزها، والمحيط الهادي، وأخيراً الحلقة النارية حول المحيط الهادي. وسنعرض ـ بإيجاز ـ مراحل نشأة كل ظاهرة منها على حدة، فيما يلي:

(١) نشأة القارات والمحيطات

يعتقد العلماء بأن القارات قد انفصلت عن بعضها بطريقة تمدد قشرة الأرض وتمزقها. فكتل القارات كانت تستقر إلى جوار بعضها في خطوط إلتآم أو التحام. وقد تحولت هذه الخطوط عند تباعد الكتل عن بعضها إلى أخاديد بين قارية ثم تحولت إلى أخاديد انكسارية قائمة الجوانب مع استمرار حركة الشد في الكتل. كما أفسحت تلك الكتل بزحزحتها مكاناً لقيام محيط أخدودي تشغله أخاديد وسطى. أي أن الأخاديد التي تكونت في الكتل القديمة لا ترتبط نشأتها بحركة بناء الجبال كما كان معتقداً. ولكن ترتبط بنطاق من التوتر وعدم الاستقرار أحاط بالأرض نتيجة عن حركة التيارات الحرارية التصاعدية. ويعزز هذا الرأي أنه قد ثبت أن أخدود الراين الأعلى، لا ترتبط نشأته بحركة بناء الجبال في القارة.

وتؤدي زحزحة الكتل إلى بناء قشرة محيطية في المواقع التي انفصلت منها القارات وتحركت عنها، وذلك بخروج مواد بازلتية من طبقة المانتل (الوشاح)

في مواقع الانفصال التي تشغلها الحواجز البحرية الوسطى، واندفاع تلك المواد إلى الجوانب، مما يؤدي إلى زحزحة كل من طبقتي السيما والسيال على حد سواء. وبمعنى آخر أن طبقة السيما تتزحزح وهي حاملة لطبقة السيال فوقها. وتعرف المحيطات الناشئة بالمحيطات الحديثة تمييزاً لها عن المحيطات السابقة لها والتي تعرف بالمحيطات القديمة. وينطبق ذلك على كل من المحيط الأطلسي والهندي والمتجمد الشمالي والنصف الجنوبي من المحيط الهادي، وهي محيطات ذات قشرة رقيقة من السيال تتراوح ما بين ٥ إلى ١٠ كيلومتراً. ويرجع تكوين طبقة السيال هذه إلى عملية الإنفصال في جزيئات الصهير (الماجما) الحامضية الخفيفة التي ترتفع مع التيارات الصاعدة والتي تبرد بسرعة، بينما تستقر الجزئيات القاعدية الثقيلة أدنى القشرة المحيطية وأعلى المانتل (الوشاح). أما شمال المحيط الهادي فهو محيط قديم تختفي منه طبقة السيال.

ومن الدراسات الحديثة للمغناطيسية الأرضية القديمة، أمكن الاستدلال على مواقع القارات القديمة حتى الزمن الأركي. وقد تبين من تلك الدراسات أن قارتين مستديرتان كانتا تقعان حول القطبين، هما جندوانا ولوراسيا. وكان يفصل بين الإثنين بحر تشس القديم الذي كان يطوق الأرض في ذلك الزمن من دائرتها الإستوائية. وقد تحولت هذه الخطوط إلى انكسارات طولية في قارة جندوانا على وجه الخصوص. ثم تحركت الكتل القارية المتفككة من حول القطبين في اتجاه إشعاعي ومع اقترابها من خط الاستواء وبالتالي من بحر تشس زاد من زحزحتها قوة التيارات الصاعدة أسفلها، والتيارات الهابطة أسفل البحر. كما تحركت مع تحرك بحر تشس نحو الشمال. ولم تكن سرعة الزحزحة متساوية، فالكتل الأصغر، تتزحزح أسرع. ثم توقفت الزحزحة عندما حدث تعادل حراري في التيارات.

(٢) نشأة الأخاديد العظمى

تعد «الأخاديد بين القارية العظمى» **Intercontinental Rifts** مرحلة من

مراحل انقسام الكتل القارية وزحزحتها، وتمثل تلك الظاهرة أصدق تمثيل لأخدود الإفريقي العظيم، الذي هو أكبر ظاهرة من نوعها على سطح الأرض، كما أنه أكبر أخدود عازل بين القارات، وتفسر نشأته بأنها نتيجة لتمدد شرق القارة الإفريقية بواسطة تكدس التيارات التصاعدية في منطقة البحر الأحمر، ثم تبع ذلك تمزق هذه القشرة، مما أدى إلى نشأة البحر الأحمر. وقد كان الإنكسار عميقاً وواسعاً بحيث أمكن لمياه المحيط أن تدخله. كما تبع الإنكسار زحزحة شبه جزيرة العرب، وابتعادها عن القارة في العصر الجوراسي. وفي هذا الجزء من الأخدود الإفريقي دلت التجارب الزلزالية على أن القشرة الأرضية رقيقة عن بقية أجزاء القارة كما أنها أكثر رخاوة. وكانت الزحزحة بعد الإنكسار بسيطة ولم تتجاوز ٥٠ كيلومتراً. وقد تبع تمدد شرق القارة تمددات أخرى في اتجاهات مختلفة خاصة نحو الشمال الغربي أي نحو خليج السويس. ثم تلي التمدد والتمزق هبوط المجموعات الجبلية الناشئة وتحولها إلى جزر. ويستدل على ذلك من عدم استقرار القشرة حيث تكثر بها الزلازل والبراكين. كما كان هناك تمدد آخر في اتجاه خليج العقبة واتجاه انكسار البحر الميت وأخدود الأردن. وقد وصل هذا التمدد حتى مقدمات جبال طوروس. ويحصر فرعي الأخدود فيما بينهما هورست شبه جزيرة سيناء، التي يمثل شكلها المثلثي نموذجاً مصغراً لقارة من القارات الجنوبية، التي نشأت عن تفكك قارة جندوانا. كما شمل التمدد منطقة كتلة أثيوبيا البللورية، التي يرجع تكوينها إلى الزمن الأركي. ورغم قدمها فقد ارتفعت حتى مستوى ٤٠٠٠ متر فوق مستوى سطح البحر، بينما هبط خليج عدن مع التيارات الهابطة إلى حوالي ٤٠٠٠ متر تحت مستوى سطح البحر، كما نتج عن الجهد الذي تعرضت له تلك الهضبة نتيجة التمدد وجود براكين حديثة على سواحل جنوب شبه جزيرة العرب. ولا تزال تتعرض قارة إفريقيا كلها لتيارات صاعدة تؤدي إلى تمدد كتلتها، الأمر الذي يحدث زيادة في حيزها، إذ أن محيط الأرض يزداد إتساعاً مع تباعده عن المركز. ويعتقد بأن إفريقيا تحولت في جزئها الشرقي إلى مجموعة كتل في حالة من عدم

التماسك، وأنها سوف تتحلل إلى أجزاء متفرقة، حتى ينتهي بها الأمر إلى أن تتحول من قارة بلا جزر إلى مجموعة من الجزر. وتعتبر جزيرة مدغشقر أول جزء انفصل عن القارة الأم في الزمن الثاني (الميزوزوي)، وهي تتجه نحو شبه جزيرة الدكن. كما أن أجزاء أخرى من شرق القارة في طريقها إلى أن تتبع مدغشقر.

(٣) نشأة النظم الجبلية الأوروجينية

في ضوء نظرية التيارات الصاعدة، لا يتم بناء الجبال بفعل ضغط جانبي على الرواسب البحرية، نتيجة حركة كتل القارية كما تفترض نظرية الزحزحة، ولكن، تتم ميكانيكية البناء بطريقة أخرى مختلفة تماماً. ويجمع الباحثون من أنصار تلك النظرية على أن تلك العملية تمر بأربعة مراحل رئيسية (شكل رقم ١٢ـ٧) هي:

أ ـ المرحلة الأولية:

وتبدأ بهبوط الكتل ذات الكثافة العالية من تحت قشرة المحيط مع التيارات الهابطة، بينما تظل أجزاء القشرة من السيما مندفعة إلى أعلى وهذا من شأنه أن يحدث تيار من أسفل الكتلة القارية المجاورة لإيجاد حالة من التوازن، ويؤدي هذا التيار إلى تقبب في حوافها أو انتفاخها. وهذه المنطقة تعرف بمنطقة عدم الاستقرار، وهي تتاخم أشرطة الجبال الإلتوائية التي يسودها الزلازل والبراكين. ومع زيادة هبوط القشرة المحيطية المجاورة تتحول هذه إلى أحواض أو بحار جيولوجية عميقة، غالباً ما تكون مستطيلة الشكل، ويزداد هبوطها مع زيادة ثقل المواد الرسوبية التي تصلها من الكتل القارية المجاورة. وقد يتخلل الارساب فترات من الهدوء. ويستدل على هبوط الارسابات مع هبوط ذلك البحر من وجود حفريات في قاعدة الجبال لكائنات لا يمكن أن تعيش إلا في مياه لا يتجاوز عمقها ٢٠٠ متر، مما يدل على أن الطبقات الرسوبية قد هبطت

بحفرياتها. وغالباً ما يصاحب هبوط الأحواض أو البحار الجيولوجية الثروانات البركانية.

ب ـ المرحلة الثانية (البناء في العمق)

ينشأ عن هبوط الكتل من أسفل القشرة إلى داخل طبقة المانتل، ضغط جانبي. فتنساب تيارات من قاعدة القشرة تحت أرض مقدم البحر، وتمتد حتى وسطه في اتجاهات متقابلة نحو داخل طبقة المانتل، مما يزيد من هبوط الحوض، إلا أنه يفترض أن صخور القشرة الصلبة في وسط حيز الهبوط لا تستجيب لعملية الهبوط إلى أسفل كلية، بل تنتفخ إلى أعلى بما تحمله من طبقات رسوبية. ويتبع الهبوط نقص في الحيز، ويصاحب ذلك انضغاط الارسابات، التي تنثنى وتلتوى. كما يتحول جزء من صخورها إلى صخور متحولة مع الحرارة الشديدة والضغط. وبقدر شدة الهبوط بقدر ما تكون كثافة التضاغط. ويظهر أثر ذلك في الإلتواءات المستلقية والزاحفة. وفي أثناء مرحلة الهدوء تتعرض الجبال الناشئة إلى نوع من التعرية المائية. ومع الهبوط الجديد تترسب عليها مواد رسوبية غير متناسقة مع الطبقات الأقدم. ويعرف الجبل الإلتوائي في مرحلة البناء في العمق بالجبل الأوروكيني.

وجدير بالذكر أنه في ضوء نظرية التيارات الصاعدة، تعد نشأة الجوانب الجبلية قاعدة عامة تتكرر مع نشأة كل جبل إلتوائي. بينما كانت توجب نظرية الزحزحة، حالات فريدة معدودة في الطبيعة نظراً لغوص الجانب الجبلي المواجه للمحيط كما كان الاعتقاد أن الجبل الإلتوائي ذاته يقوم نتيجة ضغط من جانب واحد.

جـ ـ المرحلة الثالثة (الرفع)

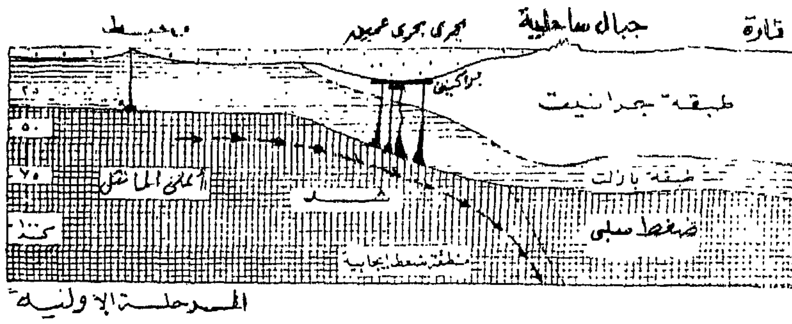
تعرف الجبال الناشئة التي لا تزال تحت سطح البحر باسم التضاريس

التكتونية. ثم تبدأ في الارتفاع عندما تصل إلى سمك كاف من تجمع المواد الجرانيتية من أسفلها إلى الحد الذي يسمح برفعها إلى أعلى بحكم عامل التوازن، وبعد أن تتوقف عملية الشد إلى أسفل تظهر الطبقات الرسوبية الملتوية فوق مستوى البحر أو لا، حيث تتعرض للتعرية المختلفة التي ترسب مواد حملها في الأحواض العميقة التي لا يزال يغمرها الماء. والملاحظ أنه مع ارتفاع الجبل الأوروجيني من محوره تهبط الأعماق التي أمامه. ويرجع سبب هبوط تلك الأعماق إلى عامل التوازن.

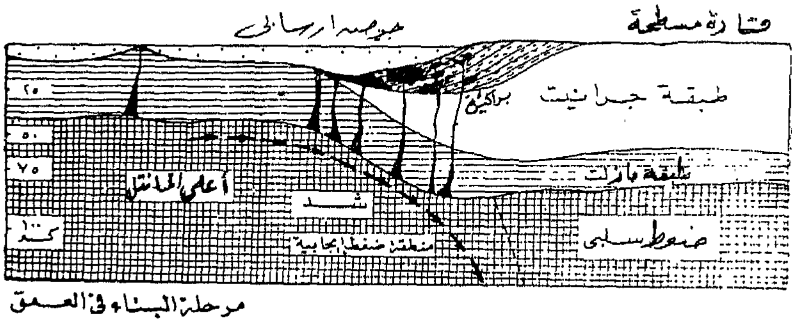
د ـ المرحلة الرابعة (الالتحام بالقارة)

يعتقد بأن الأحواض أو البحار الجيولوجية لا تقع على هامش القارات مباشرة، بل على بعد بسيط نسبياً منها. ومع عملية البناء في العمق تقترب من القارات القديمة الصلبة. ويتم التحام الجبل الأوروجيني بالقارة المواجهة التي أمامه في الأعماق بعد انتهاء تكونه. ويتم الالتحام عن طريق الجبال الجانبية بسرعة. ويكون الهامش القاري الذي تم فيه الالتحام قد أصبح رقيقاً من جراء الجهد الذي أصابه نتيجة مرور التيارات الأفقية أسفله، وبعد عملية رفع الجبل، تنتقل رواسب منه على الهامش القاري، بفعل عوامل النقل والإرساب.

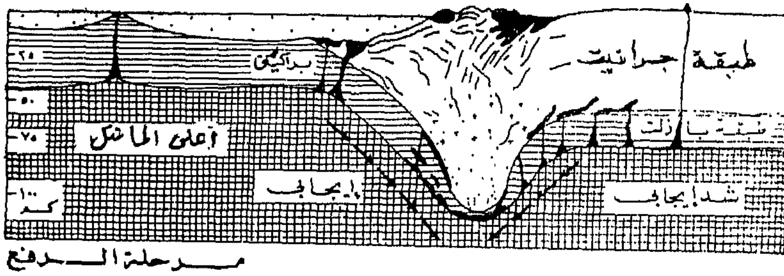
وقد يتعثر الإلتحام بالقارة إذا حدث ومزق التيار السفلي أطراف الجبل الناشىء وزحزحها أو أغرقها. وقد يحولها إلى أجزاء متباعدة أو إلى أقواس من بقايا جبلية. وفي هذه الحالة يحدث نطاق من الشد يسمح بتغلغل كتل الصهير (الماجما) على هيئة براكين نشطة تتوزع على هيئة قوس جزري. وقد يأخذ الجبل الأوروجيني امتداداً منحنياً، ويرجع ذلك إما إلى شكل الحوض أو إلى البحر الجيولوجي الذي تكون فيه الجبل، وإما نتيجة حركة التيار السفلي أثناء عملية البناء. وتبدو هذه الظاهرة واضحة في الألب حيث كان أثر التيار شديداً



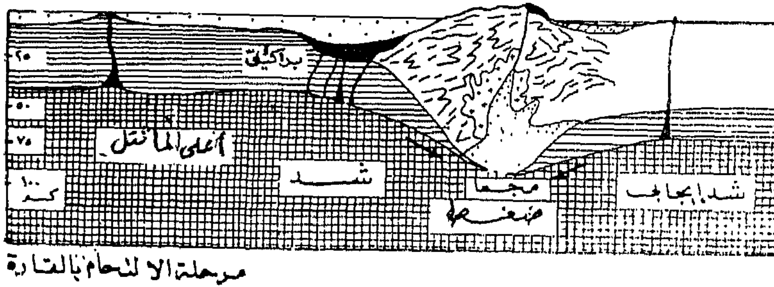
المرحلة الأولية



مرحلة البناء فى العمق



مرحلة الدفع



مرحلة الالتحام بالقارة

(شكل رقم: ١٢ ـ ٧) مراحل نشأة النظم الأوروجينية

في مرحلة البناء الألبي حتى أن الألب الغربية انحنت إلى قوس عريض نحو الجنوب، ويعتقد بأن اتجاه التيار كان من الشمال إلى الجنوب ومن الشمال الغربي إلى الجنوب الشرقي. إلا أن جزءاً من القوس الألبي الداخلي تتوافق نشأته مع خطوط الكنتور المحيطة به أي أنه أخذ شكل الحوض أو البحر الذي نشأ فيه. وينطبق ذلك على قوس جبل طارق وعلى انحناء جبل البلقان. وفي هذه الحالات لعب النقص المستمر للحيز الذي نشأت فيه الجبال دوراً في توجيهات خاصة وأن عملية التضاغط الألبية كان يعززها اقتراب الكتل القارية الصلبة لأوروبا وإفريقيا من بعضهما. وينطبق هذا أيضاً على نشأة الهيمالايا حيث تكونت في وقت تحركت فيه كتلة الدكن نحو الشمال.

ويلاحظ في الجبال الأورجينية الحديثة، وخاصة في النظام الألبي الحديث، وجود تفرع في امتداد الجبال، ويعرف ذلك بالحركة الأوروجينية المزدوجة.

فترات بناء الجبال

يدل التاريخ الجيولوجي للقشرة الأرضية على وجود أزمنة تشتد فيها حركة بناء الجبال، وأخرى تتميز بالهدوء النسبي. ويفسر ذلك بأن لبناء الجبال دورة ترتبط بالرصيد الحراري للأرض، ويرجع تاريخ الدورة إلى أكثر من مليار سنة. ومنذ تلك الفترة لم تعد الأرض تفقد حرارتها، ولم تعد تنكمش، فبلغ الرصيد الحراري لها مرحلة التعادل. ومنذ العصر الكمبري كانت هناك عوامل أخرى تقف وراء عملية التسخين ونشأة تيارات صاعدة تؤدي إلى حركات بناء الجبال وتتمثل هذه العوامل في تحلل العناصر المشعة. إلا أن التيارات لم تكن مستمرة بقوة واحدة على مدى التاريخ الجيولوجي. لذلك لم تكن الفترات التي تتخلل حركات بناء الجبال متساوية. فتقدر فترات الهدوء فيما بين ١٥٠ إلى ٢٠٠

مليون سنة، يتبعها ما بين ٣٠ إلى ٦٠ مليون سنة تقوم فيها حركة بناء كثيفة. ويرجع عدم الانتظام هذا إلى أن كتل القارات تختزن الحرارة في أسفل قاعدتها إلى حد يقلل من صلابة صخورها مما يسهل حركة التيارات ويزيد من شدتها. ويترتب على ذلك نشأة تيار جانبي لإعادة حالة التعادل الحراري، وتيار هابط يجيء بالكتل من الإطار الخارجي لإعادة صهرها مما يترتب عليه ارتفاع المواد الرسوبية الأكثر حرارة إلى أعلى.

الزحزحة وبناء الجبال

فترات الزحزحة تتفق مع فترات بناء الجبال إلى حد كبير ففي ضوء نظرية الزحزحة تفسر حركة بناء الجبال بأنها نتيجة لحركة الزحزحة بنفسها. أما في ضوء نظرية التيارات الصاعدة فتفسر تلك الحقيقة بأنه مع تكدس الحرارة أسفل القارات وهبوطها أدنى المحيطات تنشأ الأحواض أو البحار الجيولوجية على هوامش القارات. وبها تنشأ الجبال الإلتوائية. بينما تؤدي الحرارة المتجمعه إلى حدوث تفتق على ظهر القارات تنشأ عنه محيطات جديدة على حساب القارات. وبعبارة أخرى، أنه في الوقت الذي تنمو فيه القارات نتيجة التحام جبال التوائية نشأت في مناطق إلتقائها مع المحيطات، تنشأ محيطات جديدة من تفتق كتل اليابس وتزحزحها بعيداً عن بعضها. ففي الزمن الباليوزوي حدث تسخين زائد في أعماق الأرض أدنى القارات، أدى إلى تفتح خطوط الإلتآم أو الالتحام في القارات كما أدى إلى تمددها، فطفحت كتلاً بازلتية أدنى القشرة على الجوانب كما ذلك أصاب الكتل القارية. وعندما تصل التيارات الصاعدة إلى مرحلة التعادل تقل سرعة الزحزحة أو قد تتوقف تماماً. وهذا ما يتفق مع مرحلة البناء في العمق للجبال فتتباطأ هي الأخرى أو تتوقف. ثم تبدأ بعد ذلك في الارتفاع والالتحام بالقارة. وبذكل توافقت حركة الزحزحة الكاليدونية وحركة بناء الجبال الكاليدونية كما

توافقت الزحزحة الألبية وحركة بناء النظام الألبي.

(٤) الأحواض الكبرى وحواجزها

تتمثل ظاهرة الأحواض والحواجز الجبلية في إفريقيا وقشرة الأجزاء المحيطة التي حولها (شكل رقم:١٣ـ٧). ويطلق على هذه الظاهرة اسم موجات الجبال وموجات الوديان ومن أمثلة تلك الأحواض، حوض الكنغو، والكوبنجو، ويفصل بينهما حاجز كواتزا، ثم حوض الأورنج ويحده شمالاً حاجز دامارا. كما يقع حاجز غرب إفريقيا إلى الغرب من تلك الأحواض، يضاف إليها حواجز أحواض الصحراء الكبرى، وكذلك أحواض المحيط الأطلسي المجاورة: وهي حوض أنجولا وحوض غينيا ويفصل بينهما حاجز غانا وهو عبارة عن فرع من حاجز وسط الأطلسي ويمتد إلى اليابس حتى براكين الكاميرون. ثم هناك حوض الكاب، وفي شماله يقع حاجز وولفس. وفي المحيط الهندي توجد أحواض كومور وسيشل وموزمبيق ويفصل بينهما جزيرة مدغشقر بمرتفعاتها. وتفسر تلك الظاهرة بأن الصهير تحت السيال الإفريقي يتحرك على هيئة موجات من الشمال إلى الغرب وقد تركت آثارها في القشرة بالكيفية التي ترسب بها الرياح الرمال. ويستدل على أثر موجات الصهير (الماجما) بالآثار التي تركتها عند إقترابها من السطح في حالة الحواجز العالية. ففي غرب إفريقيا توجد حافة وسط الأطلسي الجنوبية بما فيها من جزر بركانية على هيئة مجموعات. وقد أدى اندفاع الصهير (الماجما) إلى قيام تلك الثنية المحدبة التي يليها موجة مرتفعة تتمثل في مناطق محدب أنجولا وتبستي. ويلي المحدبات أحواض شرق السودان والكونغو ـ كوبنجو ـ الأورنج التي تنتمي كلها إلى ثنية مقعرة في التيار ويليها شرقاً ثنية محدبة هي ثنية شرق أفريقيا ـ جزيرة العرب، بما فيها من براكين في شرق القارة وآثار براكين في شبه جزيرة العرب، وتمتد حتى سوريا.

(شكل رقم: ١٣ ـ ٧) الأحواض الكبرى وحواجزها في أفريقيا

(٥) المحيط الهادي

يمثل المحيط الهادي ظاهرة فريدة على سطح كوكب الأرض، فهو أكبر المحيطات كما أنه أكبر ثنية مقعرة على الأرض. ويبلغ متوسط عمقه ٥٢٠٠ متر. كما يتميز بشكله المستدير ويصل قطرة من الجنوب الغربي إلى الشمال الشرقي نحو ١٢٠٠٠ كيلومتر ومن الشمال الغربي إلى الجنوب الشرقي حوالي ١٦٠٠٠ كيلومتر، وأقصى اتساع له بين آسيا والأمريكتين هو ٧٠٠٠ كيلومتر. كما يتميز المحيط الهادي بكثرة البراكين، الثائرة منها والخامدة. وبه أكبر جبل بركاني على الأرض، ألا وهو جزيرة هاواي، التي تعلو فوق مستوى سطح البحر

بنحو ٦٠٠٠ متر كما تمتد إلى قاع المحيط حتى ٤٠٠٠ متراً، أي أن مجموع ارتفاعها ١٠٠٠٠ متر. ومن أهم ملامح المحيط الهادي الفريدة عدم وجود قشرة السيال في قاع جزئه الشمالي، في مساحة تقدر بأكثر من ٣٥ مليون كيلومتر متربع، على عكس بقية المحيطات، إذ يلي الرواسب على قاعة بعد أقل من ٥٠٠ متر صخور السيما. كما أن به حد(خط)الاندزيت Andsite Line وهو حد صخري يمتد من ألسكا في اتجاه اليابان وجزر مارينا حتى أرخبيل بسمارك وجزر فيجي وتوجا إلى الشرق من نيوزلندة. وإلى الغرب من هذا الخط تستقر صخور متعادلة، معظمها من الاندسيت والروليت، وإلى الشرق من الخط توجد صخور قاعدية بازلتية. ويمثل هذا الحد مرحلة الانتقال من اليابس الآسيوي الذي يقع خارجه حوض المحيط بالمعنى الحقيقي بصخوره التي تتكون من مادة السيما، كما يتميز المحيط الهادي بإحاطته بأكبر منطقة متصلة من عدم الاستقرار في القشرة الأرضية ويتمثل ذلك في الحركات الزلزالية العنيفة بالإضافة إلى الزلازل العميقة التي يقع مركزها ما بين ٦٠ إلى ٧٠ كيلومتر تحت مستوى سطح البحر. لذلك فإن أي دراسة لحركات القشرة الأرضية التي تنشأ عنها التضاريس تحتم دراسة المحيط الهادي.

وقد اختلفت الآراء حول نشأة هذا المحيط، فبينما يميل عدد من الدارسين إلى قبول نظرية جورج دارون التي ترى أن هذا المحيط قد نشأ عن انسلاخ القمر من الأرض. يرفض كثيرون هذه النظرية وفي مقدمتهم أنصار نظرية التيارات الصاعدة. ومن أهم النظريات التي تعارض نظرية داروين، تلك التي نادى بها الجيولوجي الألماني كفيرنج عام ١٩٤٨، والتي تفترض أن نشأة المحيط الهادي نتجت عن ارتطام جسم من الأجسام الكونية بالأرض، كون فيها تلك الحفرة الهائلة على غرار ما تكونه النيازك عندما تسقط على سطح الأرض. ويقدر كفرنج أن الجسم الكوني الذي كون المحيط الهادي، قد غار في المنطقة التي يحتلها شمال ذلك المحيط حتى عمق ١٣٠٠ كيلومتر، وحتى عمق حرارته ثلاثة آلاف درجة مئوية. وقد أدى هذا الإرتطام الذي تم بميل والذي قدر كفرنج

زاويته بنحو ٣٠ درجة، إلى انتزاع كتلة من جسم الأرض قدر حرارتها بنحو ٢٨٦٠درجة مئوية وكانت هذه الكتلة من الصهير (الماجما) السائلة والمتوهجة، بما فيها من غازات. وعندما وصلت تلك الكتلة المنتزعة إلى مجال جاذبية الأجرام السماوية الأخرى ضاعت فيما بينها، إلا أن الأرض والقمر قد تمكنا من جذب بعض من أجزائها إليهما. وقد أدى انتزاع كتلة من جسم الأرض بهذا الحجم إلى اندفاع اللافا الداخلية (الماجما)، وفقدان الأرض قدراً من الغازات. أما الثغرة الناشئة، فكانت لا بد وأن تقفل بحكم قانون التوازن، وذلك بصعود الصهير (الماجما) من أسفل المنطقة التي أصابها الارتطام ومن أسفل المناطق المحيطة. وقد أدى الارتطام بالأرض إلى ارتفاع وهبوط كبيرين وعلى نطاق واسطع في منطقة شمال المحيط الهادي وسواحلها، كما أدى إلى نشأة البراكين الموجودة في المحيط والتي تقع قممها عند عمق ١٥٠٠ متر تحت سطح الماء. وهي عبارة عن قمم منحوتة مما يدل على أنها كانت فوق سطح الماء من قبل، ثم تعرضت للتعرية السطحية. كما نشأ عنها تلك الخوانق البحرية والوديان التي تغطس تحت سطح الماء حتى عمق ما بين ١٥٠٠ و ٢٠٠٠ متر، فوق إنحدار قاعدة القارات المجاورة. ومن ناحية أخرى، يرفض هيس نظرية داروين ويرى أن كلا من القشرة القارية والقشرة المحيطية قد تكونتا في ظروف مرت بالأرض أسماها الكارثة العظمى. Great Catastrophe. وقد أصابت تلك الكارثة كوكب الأرض بعد أن أصبح في حالة صلبة، ونتج عنها أن «أفرزت» الأرض طبقة السيليكات على السطح، فتكونت بذلك القارة الواحدة الأولية Premitive Continent، بينما بقي باقي القشرة يكون المحيط. وقد نتجت تلك الكارثة عن إكتمال نواة الحديد والنيكل، الأمر الذي أدى إلى نشأة خلية وحيدة من التيارات الصاعدة. وقد شملت تلك الخلية كل الأرض، كما أنها حدثت مرة واحدة في تاريخ الأرض كله. ويرى هيس أن المحيط الهادي هو بقية المحيط القديم الذي نشأ مع نشأة القارة الأولية.

(٦) الحلقة النارية حول المحيط الهادي

تمثل الحلقة النارية حول المحيط الهادي أطول السواحل لليابس الأرضي، وهي عبارة عن قاعدة التقاء القارات مع قاعدة المحيط الهادي، بما في ذلك منطقة التقاء قاعدة المحيط الهادي مع القارة القطبية الجنوبية (انتاركتيكا)، بل إذا استبعدنا جبال الألب الأوروبية وبقية بحر تشس المتمثلة في البحر المتوسط، فإن هذه الحلقة تصبح أكبر منطقة نشاط جيولوجي على سطح الأرض في الوقت الحالي. وقد كان للفارق الكبير بين قاع المحيط الهادي الذي يتكون من السيما والكتل المجاورة من السيال أن ظهر فيه آثار حركة التيار السفلي الذي يتجه نحو الشرق. وقد أدى استمرار حركة ذلك التيار إلى تهشيم الجبال أثناء مراحل نشأتها المتأخرة ثم إلى زحزحتها. كما تبع ذلك نشأة الأخاديد البحرية العميقة في الأحواض الممتدة حول المحيط الهادي والتي تمثل الحدود الحقيقة بين القارات والمحيط، والتي تتطابق مع خط الأندزيت، كما كونت إطاراً من الزلازل الكثيفة في الحلقة النارية. وينتج عن التيارات الصاعدة بين أسفل القارات وأسفل قشرة المحيط أحد أمرين: إما أن تزحف القارات فوق قاع المحيط أو أن تدخل قشرة المحيط تحت الكتل القارية. كما تقوم تلك التيارات بالعمل على تمدد القشرة القارية ثم تحطيمها. ولما كان التيار السفلي يتجه نحو الشرق، فإنه يدفع معه منطقة شرق آسيا وهامش شرق استراليا نحو المحيط مع اتجاهه، الأمر الذي أدى إلى انقطاع أجزاء من الجبال في منطقة النتوء، وهو الذي تظهر فيه آثار الانكسار التي تم عنها الإنفصال. ومثال ذلك جزر قوس الألوشى في بحر برنج التي اقتطعت في اتجاه الجنوب، ولا تزال تتوجها البراكين الثائرة، كذلك تكتنفها الزلازل العنيفة بكثافة شديدة. كما تكثر بها الأخاديد الطولية الناشئة عن عملية تمدد القشرة، ويستدل من كثافة الزلازل على أن عملية الزحزحة الأفقية لا زالت مستمرة. وتؤدي تلك الزلازل العنيفة إلى تطور البناء الحوضي من ناحية وإلى تصادم الكتل الصخرية من التقاء تيارات

مختلفة مع بعضها البعض. بالإضافة إلى التهشيم المستمر في الكتل الكبيرة والصغيرة من القشرة في منطقة القوس الألوشي.

كما حدث الشيء عينه بالنسبة لجزر اليابان التي كانت ملتصقة مباشرة باليابس القاري. وكانت تمثل جانب الجبال المواجهة للمحيط، ثم تعرض هذا الجزء للتيار السفلي مما أدى إلى تمدد تلك الجبال وتوترها، ثم انتزاع هذا الجانب وجزء من منطقة النتوء. وقد تبع تلك العملية زحزحة اليابان نحو الجنوب، ونشأ بالتالي بحر اليابان، الذي يتراوح عمقه ما بين ٢٠٠٠ و٣٠٠٠ متراً، ومتوسط عرضه ٨٠ كيلومتراً، وقد غرقت أجزاء كبيرة من الجبال، كما نشأت براكين قوية لا تزال آثارها واضحة في خط الانكسار. وقد تكرر ما حدث بالنسبة لاستراليا حيث تزحف تحتها، وتحت غينيا الجديدة، تيارات نقلت جزر فيجي ونيوزيلند نحو الشرق كما نقلت الحواجز والجزر التي تنتشر في المحيط الهادي من غرب الشمال الغربي نحو شرق الجنوب الشرقي.

أما الجانب الشرقي من الحلقة النارية الذي يتمثل في سواحل الأمريكتين، فتصله التيارات الصاعدة التي تترك الجانب الغربي للحلقة في شرق آسيا واستراليا، وتدخل المحيط الهادي وتصبح قريبة من قاعه، ثم تهبط وتزحف تحت الأمريكتين. ولذلك يطلق على أثر التيارات الصاعدة في هذا الجانب من الحلقة اسم غزو المحيط الهادي من الغرب. ولذلك يختلف شكل الحلقة العام في الجانب الشرقي من المحيط عن الجانب الآسيوي والاسترالي. وتتزحزح الأمريكتان نحو الغرب مع حركة السيما، بينما تتحرك نحو الشرق من إطارها الغربي الذي تلتقي فيه مع المحيط الهادي. أي أنه يوجد في هذا الجزء إتجاهان متضادان للحركة في العمق. وقد ترتب على هذه الحركة تضاغط الهامش القاري لغرب الأمريكتين، أدى إلى تضخم السيال القاري. كما نتج عنهما هبوط في القشرة في نطاق الأخاديد. كما أدت حركة التيار السفلي نحو الشرق إلى تغلغل الصهير (الماجما) في ثنايا الجبال أثناء عملية بنائها. وقد قامت الجبال في الأمريكتين في القسم الثلاثي من الزمن الكانيوزوي في عدة أحواض أو بحار

جيولوجية طولية. فقامت الأنديز بامتداد ٧٠٠٠ كيلومتراً، كالتواء مزدوج يتوسطه كتلة بوليفيا التي تفصل بين السلاسل الإلتوائية لها. وقد تعرضت للتمدد والتكسر. كما غرقت أجزاء منها تحت مياه المحيط. كما تكونت كل من جبال الروكي ونيفادا كالتواء مزدوج هي الأخرى، وقد أدت زحزحة الكتل القديمة نحو الغرب إلى قلة كثافة الإلتواء في الروكي عنه في نيفادا. أما في المكسيك فقد تكون إلتواء واحد، يتوسطه نتوء. وتمثل كل من جبال سيرامادرا الشرقية والغربية جانبي الالتواء. وفي هذا النطاق من النشاط البنائي الذي يمتد ما بين أمريكا الشمالية وأمريكا الجنوبية من ناحية أخرى، يزحف تيار سفلي. ويعتقد الجيولوجي الألماني كراوس أن هذا التيار قد انتزع قوس من الجزر فيما بين القارتين وزحزحهما في المحيط الأطلسي. كما يرى أن استمرار اندفاع التيار نحو الشرق قد أدى إلى انحناء حافة المحيط الأطلسي في نفس اتجاه التيار. والملاحظ أن نطاق جزر الأنتيل الشمالي والجنوبي هو النطاق الوحيد في المحيط الأطلسي الذي توجد به الأخاديد البحرية العميقة (خارج أخاديد الحاجز الأوسط). وأكبر تلك الأخاديد هي: بورتوريكو (٩١١٩ متراً) في المحيط الأطلسي ثم أخدود جنوب ساندويش (٨٢٦٤ متراً).

ويتميز الجانب الشرقي لمنطقة الحلقة النارية بكثرة البراكين خاصة في أمريكا الوسطى، وبراكين القوس الداخلي لجزر الأنتيل الصغرى. ويرجع سبب تلك البراكين إلى تكدس الجزء العلوي من الصهير (الماجما) أسفل القشرة التي تصل بين الجبال، والتي تظهر كبراكين، بينما زحف الجزء الأسفل منها أدنى الجزر وقام بنقلها نحو الشرق. وكذلك الحال بالنسبة لجنوب الأنتيل، حيث لا يزال يظهر زحف الصهير (الماجما) في الزلازل التي تحدث في شيلي بمعدل زلزال واحد إلى زلزالين يومياً.

الفصل الثامن

مناطق الثبات والحركة
في القشرة الأرضية

مناطق الثبات والحركة في القشرة الأرضية

ليس من الضروري أن تتمثل تكوينات جميع الأزمنة والعصور الجيولوجية المتعاقبة بكاملها في كل بقعة من بقاع الأرض، بل كثيراً ما تختفي التكوينات التي تنتمي لمجموعة كاملة من العصور الجيولوجية المتعاقبة من منطقة من المناطق. ومن الممكن أن تتمثل تكوينات العصور الجيولوجية جميعاً في أية جهة لو أن هذه الجهة ظلت طوال هذه العصور مغمورة بماء البحر، لأن بقاءها على هذا النحو يساعد على تراكم الرواسب عليها تحت سطح الماء كما يجعلها محمية من عوامل التعرية. أما إذا تأثرت هذه الجهة بحركات القشرة الأرضية فانخفضت تحت سطح البحر في عصر من العصور، ثم ارتفعت في عصر آخر وظهرت فوق سطح البحر، فإنها في حالة الانخفاض تتراكم فوقها الرواسب، وفي حالة الارتفاع فإن عوامل التعرية تؤثر في التكوينات التي يتألف منها سطحها فتزيل كل أو بعض تلك التكوينات.

ونظراً لأن الكتل القارية اليابسة قد تعرضت في جميع أجزائها لعوامل التعرية فليس من الممكن أن نجد بقعة من بقاع اليابس تتمثل فيها تكوينات العصور الجيولوجية كلها. غير أن هذا لا يمنع بطبيعة الحال من وجود منطقة تتمثل فيها تكوينات عدد من العصور الجيولوجية المتعاقبة، وفي هذه الحالة تكون المنطقة قد ظلت تحت ماء البحر طوال هذه العصور التي تكونت فيها تلك التكوينات، ولذا استطاعت الرواسب أن تتراكم تحت مياه البحر بعيداً عن فعل التعرية وأن تتعاقب بشكل منتظم.

وإذا درسنا مناطق اليابس المختلفة على سطح اورض، فسنلاحظ أن هناك مساحات واسعة من اليابس قد دخلت في بناء القارات الحديثة التي نعرفها اليوم، ولقد كانت هذه المساحات قبل ظهورها كأرض يابسة عبارة عن مناطق بحرية تغمرها المياه، وتتراكم فوقها الرواسب والتكوينات البحرية، ثم ارتفعت هذه الرواسب بعد ذلك فوق سطح البحر، واتصلت باليابس المجاور لها، فاتسعت بذلك رقعة اليابس على حساب البحر، ومعنى ذلك أن هذه المناطق ليست ثابتة في قشرة الأرض، وإنما هي مناطق متغيرة أو متحركة تتأثر بحركات القشرة الأرضية، فتهبط مرة وتتراكم فوقها الرواسب، ثم تعلو تارة أخرى فتظهر كجزء من اليابس، تعمل على امتداد الكتل اليابسة القديمة، بعد أن تتصل بها. هذه المناطق هي ما نسميها مناطق الحركة في القشرة الأرضية وهي مناطق لا تقوى على مقاومة الضغوط الواقعة عليها. وإلى جانب المناطق المتحركة نلاحظ وجود مساحات أخرى من الأرض اليابسة، تدل طبيعة تكويناتها ورواسبها على أن مياه البحر لم تغمرها، ومعنى ذلك أنها ظلت فوق مستوى سطح البحر طوال العصور الجيولوجية المتعاقبة، فتعرضت لعوامل التعرية طيلة هذه العصور، وزالت من فوقها الكثير من الرواسب والتكوينات، وهذه المناطق الأخيرة هي ما نسميها بالكتل الثابتة في قشرة الأرض، وذلك لأنها استطاعت مقاومة الضغوط المختلفة التي تعرض لها سطح الأرض، فبقيت ثابتة، دون أن تلتوي، أو يتغير مستواها، أي أنها حافظت على أوضاعها وأشكالها.

المناطق الثابتة في قشرة الأرض

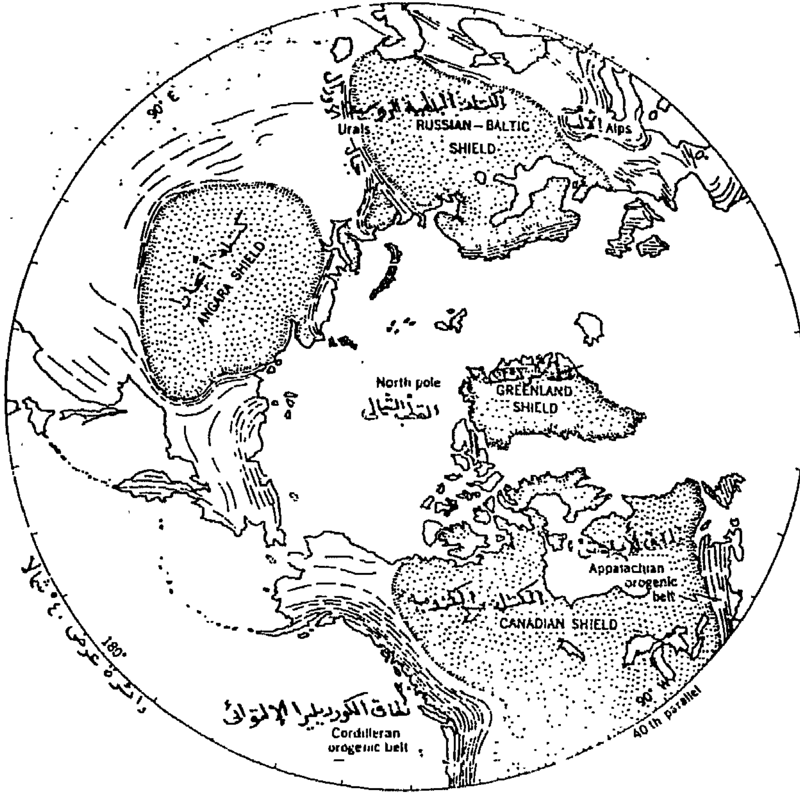
هذه المناطق في الواقع عبارة عن بقايا الكتل القديمة التي كانت تكون اليابس القديم، ولذلك فهي النوايات التي نمت حولها القارات الحديثة نمواً تدريجياً، ومن خصائصها أنها تتألف من صخور نارية ومتحولة، وهي تكوينات صلبة شديدة المقاومة لقوى الضغط المختلفة التي يتعرض سطح الأرض.

ولذلك كان تأثرها بالالتواءات المختلفة طفيفاً، وإن كان تأثرها بالانكسارات نتيجة صلابة صخورها واضحاً. ومن أهم ما تمتاز به أنها ظلت فوق سطح البحر طوال العصور المختلفة دون أن تغمرها مياهه، ولذلك أثرت فيها عوامل التعرية فحولتها إلى هضاب أو سهول تحاتية، غير أنها كانت أحياناً تتعرض لطغيان البحر فترات قصيرة فتتراكم فوقها بعض الرواسب البحرية، ثم تعود عوامل التعرية فتعمل فيها بنشاط وتنحت هذه التكوينات بعد انحسار المياه عنها. ومعنى ذلك أن هذه الكتل لم تبق على حالة واحدة طوال العصور الجيولوجية، إذ كانت مساحتها تضيق عندما تطغى عليها مياه المحيطات وتكون فوقها بحاراً داخلية، وكانت مساحتها من ناحية أخرى تتسع عندما كانت المناطق البحرية المجاورة لها ترتفع أو تنخفض مياه البحار فتظهر كأرض يابسة تتصل بكتل القارات القديمة.

ويطلق على المناطق الثابتة في القشرة الأرضية اسم الكتل الصلبة Rigid Masses أو الكتل القديمة، كما تعرف أحياناً باسم الدروع Shields، وأهمها: كتلة إفريقيا، والكتلة البلطية والرصيف الروسي، وكتلة سيبيريا، وكتلة الصين، وكتلة الدكن، والكتلة اللورنسية (الكندية) ـ وهذه الكتل، يستأثر بها النصف الشمالي من الأرض (شكل رقم: ١ ـ ٨) ـ وكتلة البرازيل ـ جيانا، وكتلة استراليا، وكتلة انتاركتيكا (القارة القطبية الجنوبية)، وتوجد هذه الكتل في النصف الجنوبي من الأرض.

كتلة (درع) أفريقيا The African Shield

تعد قارة إفريقيا في جملتها كتلة ثابتة متصلة. وقد ظلت أجزاء كبيرة منها ثابتة خلال الفترة الجيولوجية التي تمتد من منتصف الزمن الجيولوجي الأول (زمن الحياة القديمة)، لذلك لم تغمرها مياه البحر طوال العصور المتعاقبة. ويمكن تمييز ثلاث وحدات مستقلة في القارة، يعتقد أنها مجتمعة تؤلف كتلة



(شكل رقم: ١ ـ ٨) المناطق الثابتة (الكتل الصلبة القديمة) في النصف الشمالي من الأرض

إفريقيا، وهذه الكتل هي: هضبة الكارو Karro، هضبة أثيوبيا وبلاد العرب Arabian - Athiopian، وهضبة الصحراء الكبرى The Shara.

ويلاحظ أن القارة لم تتأثر بالالتواءات الألبية وذلك باستثناء منطقة جبال أطلس في شمالها الغربي التي تحمل آثارالحركة الالتوائية الفارسكية. كما توجد بعض الالتواءات الكاليدونية في منطقة الصحراء الكبرى والالتواءات الفارسكية في مقاطعة الكاب بجنوب إفريقية، وربما توجد آثار للالتواءات الفارسكية في حوض الكنغو.

ويمكن القول أن كل قارة إفريقيا إلى الجنوب من حوض الكنغو تتكون قاعدتها الصخرية من مجموعة من الصخور الأركية التي هي في معظمها صخور بلورية متحولة ونارية مع وجود بعض الصخور الرسوبية القديمة الخالية من الحفريات. وتوجد فوق هذه القاعة البلورية طبقات رسوبية ترجع إلى عصور جيولوجية مختلفة، وقبل تكون هذه الصخور الرسوبية تعرضت القاعدة إلى عوامل التعرية التي حولتها إلى سهل تحاتي. وأهم هذه المجموعة الرسوبية تلك التي تعلو القاعدة الأركية مباشرة والتي تعرف باسم مجموعة الكارو الرسوبية التي تمتد في عمرها من العصر الكربوني أو الفحمي الأعلى إلى الجوراسي. وتعد تكوينات الكارو في معظمها إرسابات مياه عذبة أي أنها من أصل قاري وذلك فيما عدا جنوب غرب إفريقيا حيث توجد بعض الحفريات البحرية في هذه الطبقات. وتتدخل الصخور النارية في تكوينات الكارو على هيئة سدود رأسية Dykes وعتبات أفقية Sills. وتتصف صخور الكارو بأنها أفقية الطبقات في مساحات واسعة وأنها أرسبت في أحواض متكونة في القاعدة الأركية القديمة كما هي الحال في الترنسفال. وتقسم هذه المجموعة الصخرية (الكارو) إلى قسمين: سفلي وعلوي، ويحتويان على الحفرية النباتية جلوسبترس Glossoptersis التي وجدت في القارات الجنوبية الأخرى.

وتظهر في منطقة القرن الإفريقي الصخور الأركية القديمة التي تكون القاعدة التي ترتكز عليها تكوينات ترجع إلى الزمنين الثاني والثالث. وقبل أن ترسب هذه الصخور، تعرضت صخور القاعدة القديمة إلى عوامل التعرية التي حولتها إلى سهل تحاتي قديم. ويشبهها في ذلك هضبة أثيوبيا وبلاد العرب، لأنها هي الأخرى ترتكز على قاعدة من الصخور النارية والمتحولة التي تنتمي إلى الزمن الأركي، وتعلو هذه القاعدة طبقات رسوبية تكونت في الزمنين الثاني والثالث.

أما في منطقة الصحراء الكبرى، فتتشابه البنية الجيولوجية للصخور

القديمة والحديثة بتلك التي تتمثل في جنوب إفريقيا. ويعد القسم الغربي من الصحراء الكبرى كتلة ثابتة قديمة، أما الأجزاء المجاورة كمنطقة جورارا Gourara فأنها تتكون من صخور تأثرت بالحركة الفارسكية. وفي منطقة عين صالح وتمبكتو تأثرت الصخور بالحركات الكاليدونية. ويطلق على الالتواءات الكاليدونية في الهضبة الصحراوية اسم Saharides - وإلى الشمال الشرقي من الهضبة الصحراوية يغطي الحجر الرملي النوبي مساحات كبيرة، كما توجد تكوينات الحجر الجيري بين تكوينات العصر الكربوني في بعض أجزاء من الصحراء الكبرى.

ومن ثم فأنه يمكن القول أن إفريقيافيما عدا النطاق الألبي في جبال أطلس تتكون في جملتها من صخور بلورية قديمة. وقامت الالتواءات الكاليدونية والفارسكية بربط الكتل القديمة التي تكونت من مجموعها كتلة القارة الإفريقية، أي أنها ظهرت بصورتها الملتحمة في الزمن الجيولوجي الأول. ومنذ ذلك الحين لم تتغير، غير أن أجزاءها الهامشية قد غطتها تكوينات بحرية أحدث.

ومن الظاهرات الهامة التي تميز الكتلة الإفريقية بصفة عامة الانكسارات الكثيرة التي أصابتها نتيجة لتأثرها بحركات القشرة الأرضية. والواقع أن الأخدود الإفريقي بفروعه العديدة، وهو كما يعرف الأثر المباشر الذي نتج عن تلك الانكسارات، يعد أعظم اخاديد العالم وأكثرها خطراً، ولقد تأثرت به مساحات واسعة من قارتي إفريقية وآسيا، وكان سبباً في حدوث ظاهرات جغرافية هامة كالبحر الأحمر، وخليجي العقبة والسويس، والبحيرات الأخدودية في هضبة البحيرات.

الكتلة البلطية Baltic Shield

تكون هذه الكتلة النواة التي نمت حولها القارة الأوروبية الحديثة. وتتكون من صخور أركية قديمة تظهر على سطح الأرض في بعض الجهات المجاورة للبحر البلطي، وأحياناً تسمى هذه الكتلة بالكتلة الاسكندناوية الفنلندية

Fenno - Scandia. وتتكون هذه الكتلة من صخور مختلفة معظمها متحولة. ويعد الحجر الرملي المعروف باسم جوتنيان أحدث هذه التكوينات، إذ أنه لم يتعرض إلى قوى الضغط وليست به صفات الصخور المتحولة. وتوجد بهذه التكوينات صخور نارية متداخلة بعضها برد تحت سطح الأرض وبعضها الآخر برد فوق سطح الأرض. ومعظم هذه التكوينات تشبه تكوينات ما قبل الكمبرى وتتصف بالبنية الجيولوجية المعقدة ذات التراكيب البنيوية الزاحفة.

وتتفق حدود هذه الكتلة بصفة عامة مع خط البحيرات الذي يطلق عليه اسم خط بحيرات جلنت Glint Lakes Line. ويسير الحد الشرقي للكتلة من البحر الأبيض الروسي وبحيرات أونجا Onega ولادوجا Ladoga حتى الخليج الفنلندي. أما الحد الغربي فأنه يسير إلى حد ما مع سلسلة الجبال الكاليدونية في شبه جزيرة اسكندناوة. وفي الشمال يحدها المحيط المتجمد الشمالي، وتعد شبه جزيرة، كولا Kola جزءاً من هذه الكتلة. ويعد البحر البلطي جزءاً من الكتلة البلطية وهي يمثل أقصى امتداد لها نحو الجنوب.

الرصيف الروسي The Russian Platform

تمتد هذه الكتلة إلى الشرق من الكتلة البلطية وتعد مكملة لها، وتتألف القاعدة التي ترتكز عليها من صخور نارية ومتحولة قديمة تنتمي إلى الزمن الجيولوجي الأول (زمن الحياة القديمة). وعلى الرغم من ظهور صخور هذه الكتلة، فإنها لا تعطى صورة واضحة عن امتدادها الحقيقي، فهي تمتد إلى مسافات بعيدة تحت روسيا الأوروبية حيث تغطيها إرسابات الزمن الأول والأزمنة الجيولوجية الأحدث في هذه المنطقة. وكل هذه التكوينات الأحدث من أصل قاري أو شبه قاري أي أنها من نوع الصخور الذي يتكون نتيجة طغيان البحار المجاورة على الأحواض القارية الداخلية كتلك التي تكونت فيها التكوينات الكاليدونية الاسكندناوية وجبال الأورال الهرسينية والسلاسل الالتوائية الألبية. وتتضمن هذه الكتوينات الرسوبية التي توجد فوق النواة

الأصلية صخوراً من الكمبري حتى أواخر الزمن الجيولوجي الثالث. ومن ثم فإن أصل هذه التكوينات يرجع إلى طغيان البحار وتراجعها وعليه يسود عدم التناسق في تتابع الطبقات الصخرية.

وقد لاحظ بعض العلماء دورات الارساب التي مرت بها هذه التكوينات التي بلغت إحدى عشرة دورة إرسابية. وقد أدت عوامل التعرية التي كونت السهل التحاتي الروسي الحالي إلى ظهور التكوينات التي أرسبت بعد الزمن الأركى على سطح الأرض حول البحر البلطي على هيئة حلقات متتابعة كلما بعدنا عن البحر.

أما الحدود الفعلية للكتلة المنطمرة بالرواسب الصخرية الأحدث، فهي ليست دائماً سهلة التتبع. ففي الشمال قد قطعت أجزاء كثيرة بفعل البحر، غير أن جبال تيمان Timan الكاليدونية والتي تمتد من خليج تشيكايا Cheskaya Pay حتى جبال الأورال تكون حدها الشمالي الشرقي. كما تكون جبال الأورال الفارسكية الحد الشرقي الواضح لهذه الكتلة، وإن كان يصعب تتبع أي حدود واضحة إلى الجنوب من هذه السلاسل. وإن كانت بنية جبال الأورال تتمثل في جبال أوست يورت Ust - Urt الواقعة بين بحر قزوين وبحر آرال، إلا أن معظم المنطقة تغطيها التكوينات الصخرية الحديثة. وتكون جبال القوقاز والبلقان والكربات الحد الجنوبي للكتلة. وتعد بنية جبال الكريات من النوع الزاحف على الكتلة الصلبة القديمة، وتتضح هذه البنية في حقول الفحم السيليزية. وإلى الشمال من جبال الكربات وجنوب بحر البلطيق لا يوجد حد واضح لهذه الكتلة.

ومن الناحية التضاريسية يمكن اعتبار كل من السهل الألماني والسهل الروسي وحدة فزيوغرافية واحدة. غير أن السهل الروسي يتكون من صخور أركية قديمة تعلوها طبقات أفقية من الرواسب القارية تراكمت جميعها في مناطق البحار الداخلية التي كانت تنشأ نتيجة لطغيان مياه البحر على المناطق المنخفضة

من سطح هذه الكتلة في العصور القديمة وتنتمي هذه الرواسب إلى العصور المختلفة التي تبدأ من العصر الكمبرى إلى أواخر الزمن الثالث. في حين أن السهل الألماني، الذي يمتد فوق صخور التوائية هرسينية أتت عليها عوامل التعرية فظهر بصورة مستوية، يمثل امتداداً تضاريسياً للرصيف الروسي.

وبناء على ذلك يكون الرصيف الروسي في بنيته مستقلاً تماماً عن السهل الألماني ومجاورة الرصيف الروسي لكتلة فنوسكانديا وتشابه الكتلتين في البنية جعل العلماء يعتقدون أنهما معاً يكونا كتلة واحدة، هي الكتلة البلطية بحيث تظهر التكوينات الأركية القديمة في جزء منها وهو منطقة فنوسكانديا وتختفي التكوينات الأركية في الجزء الآخر تحت طبقات رسوبية، وهذا هو الجزء الذي تتألف منه منطقة الرصيف الروسي.

وإذا اعتبرناهما كتلة واحدة استطعنا أن نلاحظ أن هذه الكتلة محاطة بدائرة من الالتواءات، تتكون في بعض أجزائها من التواءات كاليدونية، كما هي الحال في جبال اسكنديناوة وجبال تيمان، وتتكون في بعضها الآخر من التواءات فارسكية، كما هي الحال في جبال أورال وجذور الجبال التي يرتكز عليها سهل ألمانيا. وتتكون في أجزاء أخرى من التواءات ألبية كما هي الحال في جبال القوقاز، والبلقان، والكربات، والألب.

وجميع هذه الالتواءات قد تكونت إلى جانب الكتلة القديمة في عصور جيولوجية مختلفة، وكانت كل منها تسبب زيادة في مساحة المنطقة اليابسة عقب التوائها مباشرة وظهورها فوق سطح الأرض، ولذلك يمكن القول بأن الكتلة البلطية وكتلة الرصيف الروسي كانت النواة القديمة التي نمت حول القارة الأوروبية بالتدريج.

كتلة سيبيريا Siberian Shield

تعرف هذه الكتلة بكتلة أنجارا Angara، وإذا ما قارناها بالكتلة البلطية

يمكن أن نقول أن المعلومات الجيولوجية التي نعرفها عنها قليلة. وعلى الرغم من ذلك تمكن الجيولوجيون الروس من إيضاح التشابه الكبير بين كل من الكتلة البلطية والكتلة اللورنسية (الكندية) في شمال أمريكا الشمالية. والصخور القديمة التي تتكون منها قاعدة هذه الكتلة ترجع إلى ما قبل الكمبرى. وتوجد بهذه الصخور أدلة على حركات تكتونية التوائية قديمة، كماأصيبت بالتحول الصخري بشكل واضح. وأرسبت فوق هذه القاعدة الصخرية مجموعات صخرية تنتمي إلى الأزمنة الجيولوجية الأول والثاني والثالث مبتدئة بتكوينات العصر الكمبرى. وتحمل هذه الصخور أدلة طغيان البحر وانحساره متمثلة في سطوح عدم التوافق في بعض أجزائها.

وتنقسم الكتلة السيبيرية إلى قسمين على جانبي نهر ينسى Yenesei من مصبه حتى مدينة كراسنويارسك Krasnoyarisk ويعد القسم الغربي أرض سهلة قليلة الارتفاع مغطاة في بعض أجزائها بتكوينات الزمن الجيولوجي الرابع (البليستوسين والحديث)، وبصخور بحرية في المنطقة المتاخمة للمحيط المتجمد الشمالي. وتظهر الصخور الجوراسية والكريتاسية وكذلك التي ترجع إلى أوائل الزمن الثالث كلما اتجهنا صوب منطقة جبال الأورال. أما القسم الشرقي فيمتاز بارتفاعه، وأن تكويناته القديمة تظهر في كثير من الجهات على السطح، وتوجد صخور الزمن الجيولوجي الأول وهي شبه قارية أفقية إلى حد ما. كما توجد منطقتان للهضاب الانكسارية Horsts في منطقتي أناربار Anarbar وينسى Yenesei.

ويمكن تتبع حدود هذه الكتلة بشيء من الدقة، فجبال الأورال الفارسكية توضح أقصى امتدادها ناحية الغرب، وذلك على الرغم من وجود الالتواءات الأولية لهذه السلاسل لمسافة تحت السهل السيبيري. فتظهر صخور الزمن الأول الملتوية في وديان الأنهار الواقعة شرق جبال الأورال. ومن ثم فإن الحد الغربي للسهل السيبيري ليس واضحاً كل الوضوح. وتعد تلال بيرانجا Byrranga في شبه جزيرة تايمير Taimyr الحد الشمالي لهذه الكتلة حيث لا تختفي تحت مياه

المحيط المتجمد الشمالي. وتوجد بهذه التلال بعض الالتواءات العادية التي يمكن إرجاعها إلى الحركة الكاليدونية. وإلى الشرق من نهر لينا، تعد سلسلة جبال فرخويانسك Verkhoyansk الألبية حداً واضحاً لهذه الكتلة في الشرق. أما الحد الجنوبي فيمكن تحديده على وجه التقريب بالخط الواصل بين كراسنويارسك عبر بحيرة بيكال إلى ياكوتسك. أما في الجنوب الغربي فيعتبر الحد غير واضح لوجود بعض الصخور التي ترجع إلى الزمنين الثاني والثالث والتي تخفي تحتها الصخور القديمة لهذه الكتلة.

ويوجد بالقرب من بحيرة بيكال القوس الجبلي الكبير الذي يعرف باسم «قوس أرختسك»، وتحاط قاعدة هذا القوس بسلاسل جبلية عظيمة مثل جبال سايان Sayan في الغرب وجبال بيكال في الشرق. وتكون هذه المنطقة ما يعرف باسم «الكتلة القديمة» Old Shield التي انزلقت حديثاً على الكتلة السيبيرية القديمة الأصلية ومن ثم تعد أحدث من الكتلة السيبيرية. كما أن هذه الكتلة كانت عبارة عن منطقة التواءات كاليدونية تتكون من صخور كمبرية وسيلورية أصابتها عوامل التعرية فترة طويلة ثم تأثرت حديثاً بحركة تجديد أدت إلى رفعها بتعميق أوديتها.

وينتشر على سطح السهول السيبيرية الشرقية كثير من البازلت الذي ينتمي إلى العصر البرمي، وتجعل هذه التكوينات البركانية وتكوينات الزمن الأول والصخور الأحدث منها، والتي تخفي تحتها الكتلة السيبيرية القديمة، هذه المنطقة مختلفة إلى حد ما عن كل من الكتلة البلطية والكتلة الكندية. ولكن هذه الكتلة كغيرها من الكتل القديمة تحاط بسلاسل جبلية التوائية زاحفة عليها من كل جانب وأنها كانت النواة القديمة التي نما حولها الجزء الشمالي من القارة الآسيوية نمواً تدريجياً على حساب المناطق الالتوائية التي كانت تتكون عند حوافها.

كتلة الصين The chinese Shield

توجد صخور أركية ظاهرة على سطح الأرض في كثير من أجزاء الصين، وترتبط هذه الصخور بكتلة صلبة قديمة. وعلى الرغم من ذلك فإن أجزاء كبيرة منها تغطيها التكوينات الصخرية الأحدث. وتعد سلسلة جبال سيخوتا ألن Sikhota Alin التي تمتد شرق منشوريا في شمال الصين الحد الشرقي لهذه الكتلة، ثم القوس الجزري على امتداد تلك الجبال نحو الجنوب حتى جزر الفلبين. ويحدها في الغرب جبال خنجان Khingan وهضبة أردوس Ordos وهضبة يونان Yunnan. ومعنى ذلك أن البحر الأصفر وبحر الصين الشمالي والجنوبي عبارة عن جهات غارقة من تلك الكتلة، كما أن حوض تاريم في آسيا الوسطى يمكن اعتباره جزءاً من هذه الكتلة، وأن سلسلة جبال تسن ـ لنج ـ شان Tsin - Ling - Shan تقسم الكتلة إلى نصفين شمالي وجنوبي، وإذا ما ضم القسمان إلى بعضهما وضح الحد الشرقي في القوس الجزري من الفلبين جنوباً حتى جبال سيخوتا ألن في الشمال. وفي جبال سيخوتا ألن توجد سلسلة ألبية التوائية زاحفة على الكتلة القديمة. ولقد حدثت حركة زحف مماثلة في هضبة يونان Yunnan أدت إلى وجود حد جنوبي وغربي لهذه الكتلة. وفي جبال نان شان Nan Shan يوجد انكسار كبير يعتبر حداً للكتلة القديمة يفصلها عن هضبة أردوس Ordos القديمة ذات الصخور البلورية والمحاطة بالانكسارات. أما حدود كتلة الصين ناحية منغوليا فهي غير واضحة لكثرة الطفوح البركانية.

ويلاحظ أن أساس هذه الكتلة الذي يتكون من صخور أركية قد تغطى بصخور رسوبية كثيرة تراكمت فوقه، بعضها من النوع القاري وبعضها الآخر تكون في البحار الداخلية. ويبدو من كثرة الانكسارات التي أصابت هذه الكتلة الصينية أنها تأثرت كثيراً بحركة القشرة الأرضية، وهناك كثير من الأراضي التي هبطت على طول هذه الانكسارات. وقد حدث بجانب ما ذكر من انكسارات حدوث انكسار في المنطقة الساحلية نتج عنه أن هبطت على طوله الأرض

وغمرتها المياه ويشغلها الآن بحر اليابان، بينما ظل الجانب الآخر قائماً مرتفعاً على شكل حافة تمثلها جبال سيخوتا ألن.

وأهم ما يلاحظ على وجود هذه الكتلة في شرق آسيا أنها كانت سبباً في انحراف الالتواءات الألبية (الهملايا) نحو الجنوب بدلاً من استمرارها نحو الشرق حيث كانت صخور هذه الكتلة القديمة صلبة لم تخضع لقوى الضغط التي سببت تلك الالتواءات.

كتلة الدكن The Deccan Shield

تسمى هذه الكتلة بالكتلة الهندية، وتعد أكثر الكتل القديمة تحديداً، إذ أنها تفصل عن جبال الهملايا الألبية شمالاً بحوض السند ـ الكنج العظيم، أما شرقاً وغرباً فتحدها مياه المحيط الهندي. وقد ظلت الكتلة الهندية فوق سطح البحر من الزمن الجيولوجي الأول. ففيما عدا التكوينات الكريتاسية البحرية التي تحيط بالكتلة، فأن معظم تكويناتها قارية الأصل. وحيث أنه لا توجد حفريات بحرية في صخور الزمن الأول في كتلة الدكن، فمن المحتمل أنها ظلت أرضاً يابسة منذ ما قبل العصر الكمبري. وتعد الصخور المكونة لهذه الكتلة صخوراً بلورية ومتحولة ومعقدة البناء الجيولوجي. كما أن بعض صخور هذه القاعدة صخور متداخلة، تأثرت بالضغط والالتواءات، وصخور بركانية، وبعضها الآخر صخور رسوبية قديمة محتفظة بطبقتيها ولكنها تختلف من حيث بنيتها الجيولوجية ونوع المعادن المكونة لها وخشونة ذراتها، ولربما يرجع ذلك إلى عملية التحول الصخري التي تعرضت لها هذه الصخور.

وقد تأثرت هذه الصخور القديمة بعوامل التعرية وحولتها إلى سهل تحاتي فيما قبل الكمبري. وفوق هذا السهل التحاتي أرسبت صخور أحدث من أهمها صخور جندوانا التي أرسبت منذ أواخر العصر الكربوني حتى الجوراسي أو الكريتاسي. وفي الحوض الألبي إلى الشمال توجد الصخور الرسوبية ولذلك

فإنه إلى الجنوب من هذا الحوض توجد بعض الصخور التي تدل على طغيان البحر فوق صخور القاعدة القديمة.

وقد نشطت في فترة الكريتاسي الطفوح البركانية البازلتية التي تغطي مساحة واسعة من هضبة الدكن تصل إلى حوالي ٣٢٠ ألف كيلومترٍ مربع وتعرف هذه الطفوح باسم Deccan Traps، وتوجد في صورة طباقية: العليا والوسطى والسفلى تفصلها عن بعضها أراضي تأثرت بفعل التعرية السطحية. وترتكز الطبقات الصخرية أفقياً فوق كتلة الصخور القديمة. ويعد نظام ترتيب الطبقات على الكتلة الهندية كبير الشبه بنظام ترتيب الطبقات الصخرية في إقليم الكارو Karroo في جنوب إفريقيا، كما أن وجود طبقات جندوانا وكذلك وجود بعض الأدلة على الفترة الجليدية في عصرى البرمى والكربوني، يعتبر دليلاً على أنه كانت هناك علاقة بين الكتلة الهندية والكتلة الإفريقية من ناحية، واستراليا وأمريكا الجنوبية من ناحية أخرى. وبالإضافة إلى ذلك تعد الصلات بين هذه الكتل القارية الأربعة ببحر تشس Tethys وبالنظام الجبلي الألبي ـ الهيملايى من الأدلة القوية على العلاقة الجيولوجة القوية بينها. أما مسألة كون هذه الكتل الأربع القديمة أجزاء من قارة جندوانا أو أن هذه الكتل قد تزحزحت بعيداً عن بعضها فما زالت مسألة جدل علمي كبير.

الكتلة اللورنسية (الكندية) The Laurantian Shield

ثمة شبه كبير بين التركيب الجيولوجي لظاهرات تضاريسية متعددة في كل من قارتي أمريكا الشمالية وأوروبا. فالكتلة اللورنسية في أمريكا الشمالية تتشابه كثيراً مع قرينتها الكتلة البلطية في أوروبا في أنها كانت النواة الأولى التي نمت حولها قارة أمريكا الشمالية نمواً تدريجياً. وتتكون الكتلة اللورنسية من صخور أركية نارية ومتحولة يظهر بها نوعاً من الترتيب التركزي الدائري وتعد الكتلة اللورنسية سهلاً تحاتياً تكون قبل الزمن الجيولوجي الأول، ويمكن تقسيم هذا السهل التحاتي إلى قسمين: ذلك الذي يحيط بخليج هدسن والآخر الذي تمثله

جزر الأرخبيل القطبي. ولقد أضاف الجيولوجيون الأمريكيون والكنديون إلى معرفتنا عن الجزء الجنوبي من الكتلة حقائق علمية كثيرة تتصل بالفترة الجيولوجية السابقة على العصر الكمبري. إذا أمكن التمييز بين ثلاث حركات التوائية في الصخور المكونة لهذه الكتلة. أولى هذه الحركات تلك التي تعرف بالحركة اللورنسية Laurantian فما قبل الكمبري الأسفل ثم الحركة الألجومية Algoman وقد حدثت فيما قبل الكمبري الأوسط، وأخيراً الحركة الكيلارنية Killarney في نهاية ما قبل الكمبري. وإن كانت المعلومات عن هذه الحركات الالتوائية المبكرة (ما قبل الكمبري) ما زالت غير وافية، فالأدلة على حدوثها في قارة أمريكا الشمالية كانت قوية ومقنعة. والحقيقة التي تشير إلى وجود حركات التوائية قديمة في الكتلة البلطية قد تقود في المستقبل إلى الاهتداء لمثل هذه الدورات الالتوائية في منطقة الكتلة الكندية. هذا وقد تأثرت صخور الكتلة القديمة بهذه الحركات الالتوائية القديمة وما تبعها من تدخلات صخرية نارية ونشاط بركاني وتصدعات صخرية أدت إلى تأثرها بالتحول الصخري بصورة واضحة.

وتشمل هذه الكتلة، عدا مجموعة الجزر الواقعة في المحيط المتجمد الشمالي إلى الشمال من أمريكا الشمالية، المنطقة القارية المحيطة بخليج هدسن. ويحد هذه المنطقة خط يمتد من ساحل المحيط المتجمد الشمالي بالقرب من مصب نهر ماكنزي ويمر ببحيرة جريت بير. Great Bear . وبحيرة جريت سليف Great Slave. وبحيرة أتابكا Atabaska. وبحيرة ونيج. Winnipeg. والبحيرات الخمس العظمى ثم شبه جزيرة لبرادور، ويشبه هذا الخط خط البحيرات الذي يحدد الكتلة البلطية في قارة أوروبا، وهو الخط الذي يطلق عليه اسم Glint Lakes Line.

وينتمي إلى هذه الكتلة أيضاً منطقة السهول الوسطى في أمريكا الشمالية لأن صخورها هي الأخرى أركية قديمة، ولكن بدلاً من أن تظهر الصخور الأركية فوق سطح الأرض في منطقة السهول تغطى بطبقات أفقية من الرواسب التي

تكونت في الأزمان الجيولوجية الأول والثاني والثالث. وفي هذه الحالة تكون منطقة السهول الوسطى في أمريكا الشمالية شبيهة بمنطقة الرصيف الروسي في القارة الأوروبية.

وتظهر الصخور الأركية وسط الصخور الأحدث في منطقة قباب أوزارك Ozark، وكذلك في شمال إلينوى وأوهايو توجد حركات زحف صخرية حادة. كما تظهر الصخور الأركية في كتلة وسكونسن الجبلية. وتحد الكتلة اللورنسية في الغرب بسلاسل جبال الروكي، غير أن هناك على طول نهر ماكينزي وإلى الشرق من جبال الروكي توجد آثار لالتواءات قديمة ربما تكون كاليدونية. أما في شمال الكتلة فقد قطعت عوامل التعرية الجليدية أوصالها إلى عدة جزر، أما في الشرق والجنوب الشرقي فتوجد بعض آثار للالتواءات الفارسكة وربما الكاليدونية التي تحف هذه الكتلة. وتعد جبال الابلاش حداً واضحاً لهذه الكتلة في الجنوب الشرقي. كما تعد هضبة الكلورادو في الجنوب الغربي جزءاً مكملاً لهذه الكتلة. ومن ثم فأنه يمكن القول بأن النوايات القديمة التي نمت حولها قارة أمريكا الشمالية والتي ارتبطت ببعضها بواسطة النطاقات الالتوائية الأحدث والمتعاقبة، تشبه إلى حد كبير تلك التي كونت القارة الأوروبية.

والذي يلاحظ بصفة خاصة أن الأجزاء الشمالية من الكتلة اللورنسية وهي الأجزاء التي تتكون منها مجموعة الجزر الواقعة في شمال القارة، خالية تماماً من الالتواءات، وربما كان السبب في خلوها من الالتواءات راجعاً إلى أنها تأثرت بالانكسارات، وإلى أنها تعرضت مدة طويلة لفعل التعرية البحرية بسبب مجاورتها لمياه المحيط المتجمد الشمالي.

كتلة البرازيل ـ جيانا The Brazilian - Guiana Shield

تعد كتلة البرازيل ـ جيانا النواة التي نمت حولها القارة الأمريكية الجنوبية. وكما هي الحال في الكتل الصلبة القديمة، فإنها تتكون في معظمها

من صخور أركية بلورية قديمة مثل الجرانيت والنيس اللذان يكونان القدر الكبير من تكوين هذه الكتلة. هذا بالإضافة إلى صخور الشست والكوارتزيت الملتوية التي تمثل مناطق جبال قديمة أو تدخلات في الصخور البلورية. ولقد أثرت حركات ما قبل الديفوني على تكوينات العصر الكمبري والسيلوري. ولكن يمكن القول بصفة عامة أنه منذ العصر الديفوني ساد هذه الكتلة شيء من الهدوء، وذلك على الرغم من أن الدراسات الحديثة قد أوضحت أن هذا الهدوء كان مبالغاً فيه.

وتغطي الرواسب الغرينية لحوض الأمزون مساحات واسعة من المنطقة الوسطى لهذه الكتلة. وتترتب الطبقات الصخرية في هذه المنطقة دائرياً بحيث يوجد الأحدث في الوسط على طول المجرى النهري (الأمزون). وبهذا يظهر حوض الأمزون في صورة «طبق» ضحل تظهر التكوينات القديمة عند حوافه الخارجية. فتظهر التكوينات الكريتاسية إلى الجنوب من ماتو جروسو Matto Grosso حتى المنطقة الساحلية، تحيط بها تكوينات أقدم تنتمي إلى العصر الكربوني والعصر الديفوني. أما التكوينات السيلورية فتوجد في الشمال حول مدينة مناؤس Manaos وإلى الجنوب من مدينة بارا Pàra، وتظهر التكوينات البلورية ثانية في منطقة مرتفعات جيانا وفي ولايات بارا وماتو جروسو. وتحاط النواة القديمة في بعض أجزائها بصخور التوائية أحدث. فإلى الغرب يوجد نظام الكورديليرا العظيم الذي تكون في الزمن الجيولوجي الثالث والالتواء يكون جزءاً من الحركة الألبية الكبرى، أما في الشمال الغربي فأن سلاسل الأنديز تنحني حيث تمثل جزيرة ترنداد Trinidad أقصى امتدادها نحو الشرق في قارة أمريكا الجنوبية، وتغطي الهوامش الشرقية للأنديز برواسب أحدث مثل الغرين في حوض نهر الأمزون.

ومن الأمور الهامة التي يجدر ذكرها أن الكتلة القديمة التي تتألف منها البرازيل وجيانا تحيط بها مناطق التوائية مختلفة قد اتسعت على حسابها مساحة القارة، ومثلها في هذا مثل الكتل الثابتة الأخرى. فإلى الغرب منها تمتد سلاسل

الأنديز التي تعد جزءاً من النطاق الألبي الذي يجاور المحيط الهادي، وقد تكونت في الزمن الثالث، وإلى الشمال تمتد سلاسل الأنديز أيضاً بعد أن تنحرف نحو الشرق، وتغير اتجاهها الشمالي، ويصل امتداد تلك السلاسل حتى جزيرة ترنداد بجوار الساحل الشمالي للقارة. وإلى الشرق توجد بقايا التواءات كاليدونية في الأجزاء الشرقية من هضبة البرازيل، أما في الجنوب فتوجد التواءات بعضها كاليدوني شبيه بالالتواءات الكاليدونية التي توجد في شرق البرازيل لذلك أطلق عليها اسم الالتواءات البرازيلية «Brazilides» وبعضها هرسيني تدخل في تكوينه مجموعة الرواسب التي تمتاز بها قارة جندوانا القديمة لهذا أطلق عليها اسم «Gondwanides».

وإلى الجنوب من منطقة الالتواءات الجندوانية توجد منطقة بتاجونيا التي تظهر معالم كتلة صلبة قديمة ربما يكون لها ارتباط بقارة انتاركتيكا. ويفصلها جيولوجياً عن جبال الأنديز قوس التواءات يرجع إلى العصر الكريتاسي ويسمى بالالتواءات البتاجونية Patagonides وعليه فأنه في المنطقة التي تمتد بين الدائرتين العرضيتين ٢٠ - ٥٠ جنوباً توجد ثلاثة أقواس التوائية ترجع إلى عصور جيولوجية مختلفة هي البرازيلية، و «الجندوانية» ثم «البتاجونية»، وهذه يمكن تتبعها على طول مقدمة الجبال الأنديزية. كما أن كل قوس من هذه الأقواس يتوغل في اتجاه شمالي غربي في منطقة الالتواءات الأنديزية حيث توجد البنية الجيولوجية القديمة التي ترجع إلى ما قبل الكمبري.

كتلة استراليا The Australian Shield

تمتاز استراليا عن غيرها من القارات الأخرى بأنها القارة الوحيدة التي لم تتأثر بحركة الالتواءات الألبية، وعلى ذلك فلا يوجد بها من الجبال ما يرجع إلى هذه الحركة، اللهم إلا إذا استثنينا الجزء الشمالي من جزيرة نيوغينيا «غانة

الجديدة» التي تعد جزءاً مكملاً للقارة الاسترالية فهو منطقة التواء ألبي.

ويرجع تكوين الجبال الموجودة في استراليا إلى الحركات الالتوائية التي أصابت قشرة الأرض في الزمن الجيولوجي الأول، فالجبال التي تمتد في شرق القارة مثلاً قد تكون معظمها في الحركة الهرسينية التي حدثت في أواخر العصر الفحمي وأوائل العصر البرمي، وبذلك لا يمكن أن تعد المنطقة التي تشغلها هذه الجبال ضمن الكتلة القديمة.

وتتألف الكتلة القديمة من المنطقة التي يشغلها في الوقت الحالي هضبة استراليا الغربية والسهول الوسطى التي تمتد من خليج كربنتاريا في الشمال إلى الخليج الاسترالي العظيم في الجنوب وتتكون هذه المنطقة من صخور أركية، نارية ومنحولة. ويميز منطقة الهضبة الغربية في استراليا أنها ظلت أرضاً يابسة طوال العصور الجيولوجية المتعاقبة لم تغمرها مياه البحر إطلاقاً. فقط يحيط بها في أجزائها المجاورة للمحيط الهندي شريط ضيق من الرواسب التي تكونت في الزمنين الثاني والثالث. ويوجد على الساحل الغربي للقارة شريط يختلف في اتساعه ترجع صخوره إلى الزمن الثاني والثالث، كما توجد إرسابات بحرية ترجع إلى العصر الكربوني على طول نهر أروين Irwin River ونهر جاسكوين Gascoyne River وكذلك في بعض الأجزاء الشرقية من القارة.

أما منطقة السهول الوسطى فقد طغت عليها مياه البحر فساعد ذلك على تكوين طبقات رسوبية فوق التكوينات الأركية، ومن هذه التكوينات ما نجده في جنوب غرب كوينزلاند، وشمال غرب نيوسوث ويلز، وشمال شرق جنوب استراليا، وهي تكوينات تنتمي إلى العصر الكريتاسي. ومنها أيضاً التكوينات التي توجد في الحوض الأدنى لنهري مري ـ دارلنج، وهي رواسب بحرية تكونت في الزمن الجيولوجي الثالث.

ومن ثم فأن كتلة استراليا تتشابه مع بقية الكتل اليابسة في أن معظمها ظل

أرضاً يابسة منذ الزمن الجيولوجي الأول، وأنه باستثناء المرتفعات الشرقية قد طغت عليها البحار الداخلية.

كتلة أنتاركتيكا Antarctica Shield

تعد كتلة أنتاركتيكا الكتلة الأخيرة من الكتل الثابتة الكبرى في النصف الجنوبي من الأرض. وعلى الرغم من أن الأبحاث الجيولوجية عن هذه الكتلة النائية ليست بالقدر الذي نالته الكتل الصلبة الأخرى، فأن ما تجمع من معرفة عنها يعد إلى حد ما كافياً لإلقاء الضوء على الدور الذي لعبته في التكوين الجيولوجي للقشرة الأرضية.

ويتكون الأساس الصخري لهذه الكتلة من صخور النيس وصخور نارية جراتينية متداخلة وبعض صخور العصر الكمبري التي هي عبارة عن حجر جيري بلوري. وقد لعبت عوامل التعرية في هذه المجموعة من الصخور وحولتها إلى سهل تحاتي. ويبدو أنها ظلت على هذا الحال كسهل تحاتي خلال القسم الأسفل من الزمن الجيولوجي الأول، وبعد ذلك أرسبت طبقات أفقية فوق هذا السهل التحاتي منذ العصر الديفوني. وأهم صخور هذه المجموعة الأفقية هي صخور الحجر الرملي التي تعرف باسم «بيكون» ـ Becon Sandstone الخالية من الحفريات، إلا أنه توجد بين ثناياها تكوينات رقيقة من الطين التي بها بعض البقايا النباتية. وتدل العينات الصخرية وكذا الحفريات التي جمعت على وجود الحفرية النباتية جلوسبتريس Glossopteris. وعلى كل حال فأن الأجزاء العليا من الحجر الرملي ترجع إلى العصر الكربوني ـ البرمي أو حتى إلى العصر الترياسي. ويغطي هذا الحجر الرملي صخور الدولوريت أو صخور نارية تتشابه مع صخور تسمانيا والكارو وجنوب الهند. ووجود كل هذه التكوينات الصخرية في أماكن متباعدة من الكتلة الانتاركتيكية، تشبه ما نصادفه في كل من الكتلة البرازيلية وكتلة افريقيا وكتلة استراليا يعد دليلاً على أن صلة ما كانت تربط هذه الجهات جميعاً.

ولقد تعرضت هذه الكتلة القديمة إلى الانكسارات خاصة في منطقة فيكتوريا Victoria Land التي أدت إلى رفع حافتها الشرقية، كما يمثل بحر روس Ross Sea منطقة انكسارية غارقة. ولا توجد هناك وسائل لتأريخ هذه الحركات التكتونية، غير أنه بدراسة البراكين الناتجة عن هذه الحركات التكتونية، أمكن إرجاعها إلى الزمن الجيولوجي الثالث. ويحمل هذه الجزء من كتلة انتاركيتكا شبهاً كبيراً لكل من استراليا وتسمانيا. وقد اكتشفت بعثة Aurora عام ١٩١٢ بعض الأدلة في الأجزاء القارية بينهما على احتمال اتصالهما.

أما في منطقة جراهم لاند Graham Land وفي الجزء الجنوبي من الكتلة والقريب من جزر شتلاند الجنوبية، يختلف التركيب الجيولوجي اختلافاً بيناً ويشبه إلى حد كبير نظام التركيب الجيولوجي لقارة أمريكا الجنوبية. ففي الغرب توجد جبال كورديليرا الالتوائية التي تماثل جبال الأنديز، وفي الشرق توجد منطقة مستوية بها آثار النشاط البركاني. فتحتوي المنطقة الملتوية في الغرب على صخور نارية وأخرى رسوبية ترجع إلى الزمن الثاني وتشبه إلى حد كبير تلك التي تتكون منها جبال الأنديز، وفي حين أن تكوينات الصلصال السينومي والحجر الرملي الميوسيني في منطقة «روس» و «تل الثلج» وجزر سيمور، بها كثير من الحفريات التي يمكن مقارنتها بما هو موجود منها في طبقات إقليم بتاجونيا في أمريكا الجنوبية، غير أن المنطقة الانتاركتيكية تتميز بأنها اصغر امتداداً من منطقة بتاجونيا، ويبدو أنها تأثرت بالحركات الانكسارية أكثر من بتاجونيا. كما أن ظاهرة الفيوردات في غرب أمريكا الجنوبية توجد في غرب «جراهم لاند». ومن ثم فأنه يمكن افتراض ارتباط سابق بين كتلتي انتاركتيكا وأمريكا الجنوبية على طول المنطقة التي تمتد فيها جزر سوث أوركني وجزر سوث ساندوتش، وسوث جورجيا.

المناطق المتحركة في قشرة الأرض

المناطق المتحركة في قشرة الأرض هي المناطق التي تشغلها في الوقت الحالي السلاسل الالتوائية، التي ذكرنا أنها تمتد إلى جوانب الكتل الثابتة، ثم تتصل بها، فتزيد بذلك مساحة اليابس. وهذه المناطق الالتوائية أكثر انتشاراً في بناء الكتل القارية الحديثة من الكتل الثابتة نفسها. ولأنها مناطق التوت لعدم مقدرتها على مقاومة الضغوط التي تعرض لها سطح الأرض، فهي تمثل مناطق الضعف في القشرة الأرضية. ومن هنا فهي تختلف كثيراً عن الكتل الصلبة التي تقاوم الضغوط ولا تتأثر بها.

ومن أهم ما يميز المناطق الالتوائية أنها تتكون من تكوينات رسوبية، تسود فيها الأحجار الجيرية والطينية والرملية التي تتكون أساساً في قاع البحار. وتدل طبيعة هذه التكوينات البحرية وكذلك ظهورها في سلاسل جبلية مرتفعة على أن مناطقها كانت في أول الأمر جهات منخفضة تحت سطح البحر، تراكمت عليها الرواسب البحرية، ثم تأثرت بعد ذلك بحركات القشرة الأرضية، فالتوت طبقاتها مما أدى إلى ارتفاعها عن سطح البحر مكونة تلك السلاسل الجبلية الشاهقة. ولهذا أطلق على هذه الجهات اسم مناطق الحركة أو مناطق الالتواء أو مناطق البحار الداخلية. وقد عرفنا أن الجبال الالتوائية على سطح الأرض لم تتكون كلها في عصر واحد أو زمن واحد، وإنما تكونت في فترات جيولوجية متباعدة.

ويطلق العلماء على الجهات التي تكونت فيها رواسب السلاسل اسم البحار الداخلية أو الأحواض البحرية Geosynclines، وهي المناطق المنخفضة التي كانت تنحصر بين الكتل الصلبة، فتغمرها المياه التي كانت تتصل بالمحيطات، وكانت عوامل التعرية تعمل بنشاط في الكتل الصلبة المجاورة لهذه البحار، وكانت تلقى بالرواسب فيها، فتراكمت على مر الزمن تكوينات بحرية سميكة، ثم إلتوت، وكونت تلك السلاسل التي نشاهدها اليوم. ويرى بعض

العلماء أن سمك هذه الرواسب التي تتكون فيها السلاسل الالتوائية الآن، كان عظيماً جداً، ويقدرونه فيما بين ٦٠٠٠ ـ ١٠٠٠٠ متر، ويستندون من كل هذا على أن البحار الداخلية كانت تختلف تماماً عن بحارنا الحالية، ويقولون بأنها كانت بحاراً عظيمة العمق والطول وشديدة الضيق.

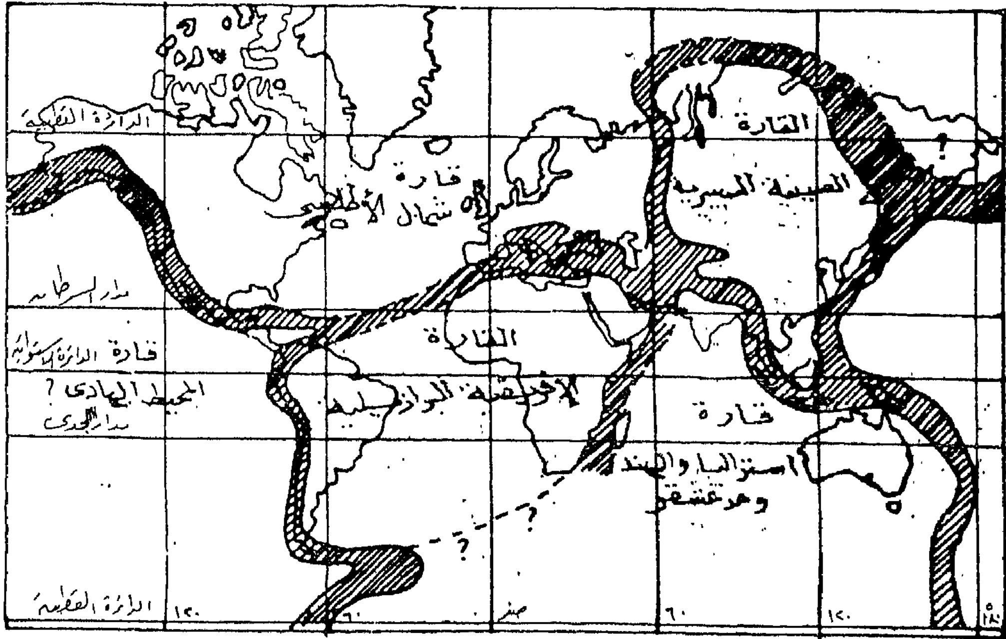
ويبدو أن الرواسب التي كانت تتراكم فوق قاع هذه البحار كانت تؤدي بثقلها إلى هبوط هذا القاع، وإلى زيادة العمق زيادة تدريجية، ذلك لأن ضعف القشرة في هذه المنطقة لم يكن يقوى على مقاومة ثقل الرواسب المتراكمة وقد كان هناك توازن دقيق بين الرواسب المتراكمة والعمق الناشىء عن ثقل تلك الرواسب، حتى أن الظروف التي تكونت فيها الرواسب، من حيث العمق، ظلت كما هي دون أن تتغير، يدل على ذلك أن الرواسب على الرغم من سمكها الهائل، قد تكونت جميعاً في عمق ثابت.

والمناطق المتحركة في قشرة الأرض، أو كما تسمى مناطق الضعف، أو مناطق الارساب البحري. كانت في الزمن الجيولوجي الثاني ـ حسب رأي العالم الفرنسي هوج Haug ـ تفصل بين الكتل اليابسة كبحار داخلية. وفيما يلي توزيع لتلك المناطق والمناطق التي تجاورها (شكل رقم: ٢ ـ ٨).

١ ـ بحر تثس Tethys: وكان يحتل منطقة البحر المتوسط، ويمتد غرباً بحيث يشغل منطقة أخرى في وسط المحيط الأطلسي، وكان يفصل بين كتلة المحيط الأطلسي في شماله (أوروبا وأمريكا)، وكتلة إفريقيا والبرازيل في جنوبه.

٢ ـ بحر روكي Rocky: وكان يشغل منطقة السلاسل الالتوائية التي تمتد اليوم في غرب أمريكا الشمالية، وكان يفصل بين كتلة المحيط الأطلسي الشمالي في شرقه وبين كتلة القارة الباسيفيكية في غربه (؟).

٣ ـ بحر الأنديز Andes: وكان يحتل المنطقة التي تمتد فيها اليوم سلاسل الأنديز، وكان يفصل بين كتلة البرازيل وإفريقية في شرقه وبين كتلة القارة الباسيفيكية في غربه.



شكل رقم: ٢ ـ ٨) توزيع البحار الداخلية أو الأحواض البحرية الإرسابية خلال الزمن الجيولوجي الثاني

٤ ـ بحر أورال: وكان يحتل منطقة الأورال في الوقت الحاضر، كما كان يفصل بين كتلة المحيط الأطلسي الشمالي في الغرب وبين كتلة سيبيريا والصين في الشرق.

٥ ـ بحر موزمبيق: وكان يشغل منطقة بوغاز موزمبيق الحالية ويفصل بين كتلة استراليا والهند ومدغشقر في الشرق، وبين كتلة إفريقية والبرازيل في الغرب.

٦ ـ بحر اليابان واختسك: وكان يشغل منطقة هذين البحرين حالياً، ويفصل القارة الباسيفيكية في الشرق، عن كتلة الصين وسيبيريا في الغرب.

٧ ـ بحر جزر الهند الشرقية وجزر نيوزيلند: وكان يفصل بين كتلة استراليا والهند ومدغشقر في الغرب، وبين كتلة القارة الباسيفيكية في الشرق (في

المحيط الهادي؟).

٨ ـ بحر الهملايا وشبه جزيرة الملايو: ويعد هذا الامتداد الشرقي لبحر تشس، وكان يفصل بين سيبيريا والصين في الشمال، وبين كتلة استراليا والهند ومدغشقر في الجنوب. والحقيقة أن أماكن هذه البحار الداخلية القديمة تتفق مع امتداد السلاسل الجبلية في الوقت الحاضر. وقد سبق أن ذكرنا أن هذه السلاسل الالتوائية لم تتكون جميعها في عصر جيولوجي واحد، وإنما في عصور مختلفة، ومنها ما هو قديم، عملت فيه عوامل التعرية شوطاً بعيداً، ومنها ما هو حديث نسبياً، فلم تستطع عوامل التعرية أن تزيل إلا القليل منه، فظل حتى اليوم شامخاً عظيم الارتفاع. وقد قسم العلماء فترات تكوين هذه السلاسل إلى ثلاثة فترات رئيسية عرفت بالدورات المتعاقبة.

أما الدورة الأولى، فقد شغلت الفترة ما بين أواخر العصر السيلوري وأوائل الديفوني (أواسط الزمن الأول ـ زمن الحياة القديمة) وتكونت فيها الالتواءات الكاليدونية، بينما شغلت الدورة الثانية الفترة ما بين أواخر العصر الفحمي وأوائل العصر البرمي (أواخر الزمن الأول) وتكونت فيها الالتواءات الهرسينية أو الفارسكية. أما الدورة الثالثة، فقد شغلت الفترة ما بين أواخر الزمن الثاني والجزء الأكبر من الزمن الثالث. ولكنها بلغت أوجها في عصر الميوسين، وتكونت خلالها مجموعة السلاسل الألبية في جميع جهات العالم.

وهناك دورات أخرى أقدم من الدورات السابقة، عرف العلماء أنها تمت في الزمن الأركي، وقد تبينوا آثار ثلاث من تلك الدورات في قارة أمريكا الشمالية، خاصة في إقليم البحيرات العظمى. وقد تمت أقدم هذه الدورات في أوائل الزمن الأركي، وظهرت فيها الالتواءات اللورنسية، أما الدورة الثانية فقد تمت في أواسط الزمن الأركي وظهرت فيها الالتواءات الألجومية. وتمت الدورة الثالثة في أواخر الزمن الأركي وظهرت فيها الالتواءات الكيلارنية. وتعد هذه الدورات الثلاث دورات ثانوية، لأن حركات القشرة الأرضية التي حدثت

فيها لم تؤثر إلا في مناطق محدودة جداً من العالم.

وقد تعرف العلماء عدا الدورات الست التي سبق ذكرها على دورة سابعة، تمت في العصر الكريتاسي، أي في الفترة التي امتدت بين حدوث دورة الالتواءات الهرسينية ودورة الالتواءات الألبية. وقد أطلقوا على الالتواءات التي ظهرت فيها اسم الالتواءات اللارامية «Larmid» وتعد هذه الدورة، هي الأخرى، دورة ثانوية، وكثيراً ما يلحقها العلماء بالدورة الفارسكية، وحينئذ تعد ذيلاً من ذيول تلك الدورة، وقد يلحقونها بالدورة الألبية، وحينئذ تعد مقدمة من مقدماتها.

ولا يعنينا في دراستنا هذه إلا الدورات الرئيسية، أي الدورات التي أنتجت للعالم الالتواءات الكاليدونية، والالتواءات الهرسينية أو الفارسكية، والالتواءات الألبية. أما الدورات الأخرى التي سبقت هذه، أو جاءت بعدها، أو تخللتها، فسنهملها، لأنها كما قلنا دورات ثانوية، لم تتأثر بها إلا جهات محدودة جداً من العالم.

ويجدر بنا قبل أن نسترسل في معرفة أنواع هذه الالتواءات وتوزيعها في جهات العالم أن نعرف شيئاً عن المراحل المختلفة التي تتألف منها كل دورة من هذه الدورات، وما أصاب المناطق الالتوائية من تطور خلال هذه المراحل:

١ ـ ففي المرحلة الأولى كانت تتكون المنطقة الحوضية المنخفضة ثم تغمرها مياه البحر. وفي المرحلة الثانية تتراكم الرواسب في هذا البحر الداخلي حتى تملأ قاعه. وفي المرحلة الثالثة تقترب حافتا البحر الداخلي، فيؤدي اقترابها إلى تأثر هذه الرواسب البحرية بالضغوط الجانبية، مما يعمل على التوائها وظهورها فوق مستوى سطح البحر، على شكل سلاسل جبلية التوائية. وفي المرحلة الرابعة تتعرض هذه الالتواءات لعوامل التعرية المختلفة، فتزيل تكويناتها بالتدريج، وقد تمحوها في آخر الأمر، ولا يبقى منها إلا جذورها التي تدل عليها.

ويرى العالم كوبر أنه إذا تحرك جانباً البحر الداخلي، كل منها نحو الآخر فأنه ينتج عن ذلك مجموعتان من السلاسل الالتوائية، تمتدان بموازاة هذين الجانبين، وهي ما يسميها بالسلاسل الجانبية، وإذا كانت الحركة وقوة الدفع شديدتين، فأن السلاسل الالتوائية الناتجة تتجاور وتبدو كأنها مجموعة واحدة ـ كما هي الحال في جبال الألب السويسرية. أما إذا كانت الحركة ضعيفة تكونت منطقة وسطى أو كتلة وسطى بين المجموعتين الجانبيتين وتكون هذه المنطقة مستوية السطح، أي أن الشكل العام يظهر على هيئة حافتين جبليتين وفي الوسط منطقة جبلية وسطى (شكل رقم: ٣ ـ ٨).



(شكل رقم: ٣ ـ ٨) تكوين السلاسل الالتوائية حسب رأي كوبر

وفيما يلي دراسة مختصرة لمناطق الحركة في القشرة الأرضية وخصائصها الجيولوجية وتوزيعها الجغرافي.

الالتواءات الكاليدونية

هي أقدم الالتواءات التي أصابت قشرة الأرض بعد الزمن الأركي حيث شغلت الفترة الجيولوجية التي تقع في أواخر العصر السيلوري وأوائل العصر

الديفوني (أواسط الزمن الأول). وتتمثل هذه الالتواءات بصورة واضحة في المرتفعات التي توجد في الركن الشمالي الغربي لقارة أوروبا، وأفضل مثال لتلك الالتواءات المرتفعات الشمالية الغربية في اسكتلاندا، وهي المرتفعات التي تمتد في منطقة كاليدونيا، لذلك سميت جميع الالتواءات التي تنتمي إلى هذا النوع باسم هذه المنطقة. وتمتد مرتفعات كاليدونيا في منطقة ضيقة في اسكتلاندا، واتجاهها العام من الشمال الشرقي إلى الجنوب الغربي.

وتعد مرتفعات اسكنديناوه جزءاً كملاً لمرتفعات كاليدونيا، فهما معاً يكونان وحدة جبلية، تتفق في البنية، وفي الامتداد، ولم يفصل بينهما إلا هبوط منطقة بحر الشمال، وقد حدث هذا الهبوط في عصر متأخر هو «عصر البليوستوسين».

وتدل الأبحاث الجيولوجية على أن الالتواءات الكاليدونية في اسكتلاندا قد تكونت عند حافة كتلة ثانية قديمة، لا تزال بقاياها ممثلة حتى الآن في الأجزاء الشمالية الغربية القصوى من اسكتلاندا، وفي جزر هبرديز، كما تدل على أن الضغط الذي ولدها كان يتجه من الجنو الشرقي إلى الشمال الغربي، أما في اسكنديناوة فقد تكون الالتواء على حافة الكتلة البلطية، وكان اتجاه الضغط الذي نشى عنه هذا الالتواء من الشمال الغربي نحو الجنوب الشرقي.

ويظهر امتداد المرتفعات الكاليدونية الاسكتلندية في شمال أيرلندا، كما يظهر امتداد المرتفعات الكاليدونية الاسكندناوية في جزيرة سبتسيرجن وهناك بعض المناطق في الجزر البريطانية التي تنتمي بقايا المرتفعات الموجودة بها إلى الحركة الكاليدونية، مثل منطقة البحيرات، وشمال غربي ويلز، وجنوبيها، وجنوبي إيرلندا، وفي هذه المنطقة الأخيرة يلتقي امتداد الالتواءات الكاليدونية مع امتداد الالتواءات الهرسينية (الفارسكية).

وتتمثل الالتواءات الكاليدونية في جهات أخرى من أوروبا مثل بولونيا ومنطقة منجم الفحم البلجيكي، والهارتز، وتورنجيا، والسوديت وحواف الكتلة

البلطية، والبرانس الفرنسية، وبعض جهات شبه جزيرة أبيريا، ولكن هذه الجهات جميعاً تأثرت بالحركة الهرسينية أكثر مما تأثرت بالحركة الكاليدونية.

وفي آسيا تتمثل هذه الالتواءات الكاليدونية في بعض جهات كتلة سيبيريا ـ قرب الطرف الجنوبي لبحيرة بيكال ـ وفي الحوض الأوسط لنهر لينا، وإلى الشرق من النهر نفسه. أما في إفريقيا فتتمثل هذه الالتواءات في الصحراء الكبرى ـ في منطقة مرتفعات جورراه، حيث تمتد من الشمال إلى الجنوب. أما في استراليا فتتمثل في مقاطعة سوث ويلز وفي منطقة ناريجوندا. أما في أمريكا الشمالية فلا تتمثل إلا في جهات قليلة جداً، ويعتقد أن بعضها في الحوض الأعلى لنهر يوكن، وفي هضبة بيدمونت إلى الشرق من جبال الابلاش، وفي الجانب الشرقي لجزيرة جرينلاند. وفي أمريكا الجنوبية تتمثل هذه المرتفعات في الحافة الشرقية لكتلة البرازيل، وفي المنطقة الواقعة شمال الأرجنتين وشمالها الغربي.

الالتواءات الهرسينية (الفارسكية)

وهي مجموعة الالتواءات التي تكونت في العصرين الفحمي والبرمي، وهي أكثر انتشاراً في كتل القارات الحديثة من الالتواءات الكاليدونية، وقد أطلق عليها اسم هرسينية نسبة إلى مرتفعات الهارتز (في ألمانيا) التي تمثلها أحسن تمثيل. إلا أنه في أوروبا يطلقون على هذه الالتواءات، إما الالتواءات الأرموركية خاصة في جنوب الجزر البريطانية وغرب فرنسا. وإما الالتواءات الفارسكية أو الهرسينية في بقية جهات أوروبا.

ونلاحظ أن الالتواءات الهرسينية لا توجد الآن على شكل سلاسل جبلية متصلة، كما هو الحال في الالتواءات الألبيبة الحديثة، وإنما توجد على شكل كتل منفصلة، قطعتها عوامل التعرية وفصلت أجزاءها المختلفة بعضها عن بعض. وتنتمي إلى هذه الالتواءات كل الجبال الانكسارية في أوروبا ـ فهناك

مثلاً هضبة الميزيتا الإسبانية، ومرتفعات بريتانى في شمال غرب فرنسا، ومرتفعات جنوب غرب إيرلندا وجنوب ويلز، وكورنوول في إنجلترا، وهناك أيضاً هضبة فرنسا الوسطى والفوج والغابة السوداء والأردن وهضبة الراين، وهضبة بوهيميا، وجبال السوديت، وكثير من الجبال الانكسارية التي تتوسط سلاسل الألب، مثل الجبل الأبيض، وجوثارد.

أما في آسيا فتنتمي إليها جبال التاي Altai، وسيان، وبيكال، وخنجان وكذلك بعض مرتفعات الجبال الالتوائية الحديثة، مثل جبال تيان شان وحوض تاريم. كما تشمل أيضاً مرتفعات جبال تسن لن شان في الصين، ومرتفعات تشوجوكو Chugoku في جنوب جزيرة هنشيو Honshiu باليابان.

وفي استراليا تتمثل هذه المرتفعات في المرتفعات الشرقية التي تمتد على طول الساحل الشرقي. أما في أمريكا الشمالية فتتمثل في مرتفعات الابلاش في شرق الولايات المتحدة. وفي أمريكا الجنوبية تتمثل في الجهات الواقعة بين بتاجونيا وبين سهول البمبا، حيث تمتد مرتفعات سيرادي كوردويا، وسيرادي فنتانا.

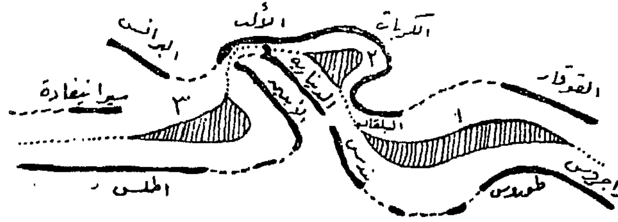
أما في إفريقية فيرى بعض العلماء أن جبال الرأس (Cape) تنتمي إلى الالتواءات الفارسكية، إلا أن الكثير من العلماء يعتبرونها مقدمة للالتواءات الألبية. كما تتمثل جهات أخرى للحركة الهرسينية في إفريقيا مثل بعض جهات هضبة مراكش والأطلس العظمى والأجزاء الشمالية من الصحراء الكبرى.

الالتواءات الألبية

تعد الالتواءات الألبية أحدث الالتواءات التي أصابت قشرة الأرض، وإليها تنتمي أعظم وأعلى السلاسل الجبلية، وذلك لأن عوامل التعرية لم تستطع بعد أن تزيل الكثير من تكويناتها كما فعلت بالالتواءات الكاليدونية والهرسينية

من قبل. ولقد تأثرت الاتجاهات التي امتدت خلالها هذه السلاسل بالضغوط التي تعرضت لها المواد الرسوبية التي كانت تملأ أحواض البحار الداخلية، كما تأثرت في الوقت نفسه بالكتل الصلبة الثابتة التي كانت تمتد حول هذه البحار الداخلية. وكذلك تأثرت ببقايا الالتواءات القديمة، وبصفة خاصة بقايا الالتواءات الهرسينية (الفارسكية). لكل هذا امتدت السلاسل الألبية في اتجاهات مختلفة، وظهرت على شكل أقواس ضخمة. وتمتد هذه السلاسل في منطقتين هامتين: الأولى هي منطقة الحلقة النارية، وهذه تحف بسواحل المحيط الهادي، وتمتد في الأمريكتين، وفي أقواس الجزر الأسيوية والاسترالية. والمنطقة الثانية هي منطقة سلاسل الألب والهيملايا، وهي تمتد في حوض البحر المتوسط، أي في جنوب أوروبا وشمال إفريقيا، كما تمتد في وسط آسيا وتستمر شرقاً وجنوباً بشرق حتى تتصل بمنطقة الحلقة النارية، ومنطقة الالتقاء تمثلها جبال جزر الهند الشرقية. أما من ناحية الغرب فتتصل سلاسل الألب والهيملايا أيضاً بمنطقة الحلقة النارية عن طريق جزر كناري والحافة الغاطسة الممتدة وسط المحيط الأطلسي، ثم جزر الهند الغربية.

وفي أوروبا تتمثل هذه الحركة الالتوائية الحديثة في جبال سيرانيفادا في إسبانيا وتسمى أيضاً سلاسل بتك Betic، وجبال البرانس والألب الفرنسية والألب الوسطى والكربات والبلقان والقوقاز، ويعتقد أن الضغوط التي كونت هذه السلاسل كانت من الشمال إلى الجنوب، في حين أن الضغوط التي كونت سلاسل الأطلس (في إفريقية) والابنين (في إيطاليا) والألب الدينارية، وجبال بنطس وجبال طوروس ـ كانت ضغوطاً آتية من ناحية الجنوب. ومعنى ذلك أن السلاسل الألبية التي تمتد في حوض البحر المتوسط تتألف من مجموعتين منفصلتين: إحداهما في الشمال، وقد تكونت عند الحافة الشمالية للبحر المتوسط القديم «بحر تثس» والثانية في الجنوب، وقد تكونت عند الحافة الجنوبية لذلك البحر. وهاتان المجموعتان تمتدان بحث يفصل بينها كتل هضبة وسطى (شكل رقم: ٤ ـ ٨).



(شكل رقم: ٤ ـ ٨) سلاسل الجبال الالتوائية في حوض البحر المتوسط والكتل الهضبية الوسطى التي تفصل بينها

وفي آسيا تتمثل هذه الالتواءات في كتل ضخمة تمتد من آسيا الصغرى إلى إيران وشمال الهند وغرب شبه جزيرة الملايو حتى جزر الهند الشرقية (أندونيسيا). ويعتقد أن ثبات كتلة الصين القديمة في موقعها الحالي كان سبباً أدى إلى انحراف السلاسل الألبية في شرق آسيا نحو الجنوب (في منطقتي بورما والملايو). وفي منطقة جزر الهند الشرقية تلتقي السلاسل الألبية الآسيوية الأوروبية مع سلاسل الحلقة النارية الألبية، وتتمثل السلاسل الأخيرة في مجموعة الأقواس الجزرية التي تتألف منها مجموعة جزر ألوشيان، وكوريل واليابان، وريوكيو، والفلبين، وبعض جهات جزيرة نيوفينيا، وكذلك جزر نيوزيلند. كما تعتبر جبال شبه جزيرة كمتشتكا، وجبال سيخوتا ألن في شرق منشوريا، ضمن هذه الالتواءات الحديثة.

وتتمثل هذه الالتواءات في أمريكا الشمالية في مجموعة السلاسل الغربية

التي تتألف من سلاسل ساحلية؛ تكونت نتيجة لضغوط آتية من الشرق إلى الغرب، أي نحو المحيط الهادي، وكذلك من سلاسل داخلية تكونت نتيجة لضغوط أخرى آتية من الغرب إلى الشرق، أي نحو الكتلة الكندية، وتمتد كلا السلاسل الساحلية، والسلاسل الداخلية بموازاة الساحل، ويفصل بينهما كتل وسطى؛ تتألف منها مجموعة الهضاب العالية التي تشمل هضبة يوكن، وكولمبيا؛ وايداهو، والحوض العظيم، ومكسيكو.

وفي أمريكا الجنوبية تتمثل هذه الالتواءات في سلاسل الانديز. ولا تختلف هذه السلاسل في شيء عن السلاسل الألبية التي تمتد في غرب أمريكا الشمالية؛ فهي مثلها تتألف من سلاسل ساحلية، قد تكونت نتيجة لضغوط آتية من الشرق إلى الغرب أي نحو المحيط الهادي، وسلاسل داخلية «شرقية» وقد تكونت نتيجة لضغوط آتية من الغرب إلى الشرق، أي نحو كتلة البرازيل، وهي مثلها تمتد موازية لساحل المحيط الهادي، وتفصل بين سلاسلها الساحلية والداخلية كتل هضبة وسطى، أهمها هضبة بيرو وبوليفيا.

وتخلو قارة استراليا تماماً من الالتواءات الألبية بسبب صلابة كتلتها القديمة التي استطاعت أن تقاوم الضغوط المختلفة التي تأثرت بها قشرة الأرض في مناطقها الضعيفة. ويرى العلماء أن سلاسل الأنديز في قارة أمريكا الجنوبية، تعود فتظهر ثانية في القارة القطبية الجنوبية (أنتاركتيكا) حيث تتمثل في سلاسل جبلية تمتد في منطقة جراهام لاند، وفي سلسلة الولايات المتحدة التي تمتد في منطقتي جرانت لاند وجرينل لاند.

أما في إفريقيا فتتمثل الالتواءات الألبية في مرتفعات جبال أطلس العظمى الشمالية والجنوبية التي تقع في شمال غرب القارة.

الفصل التاسع

الغلاف المائي

الغـلاف المـائي

يعد الماء من أكثر المواد انتشاراً في القشرة الأرضية، حيث يغطي ٧٠,٨٪ (٣٦١ مليون كيلومتر مربع) من مساحة سطح الأرض (٥١٠ مليون كيلومتر مربع). ويمكن اعتبار المياه الموجودة فوق سطح الأرض كطبقة أو غلاف لكوكب الأرض، تعرف بالغلاف المائي Hydrosphere، ويقع هذا الغلاف بين الغلاف الصخري والغلاف الجوي، ويشمل المحيطات والبحار والبحيرات والمستنقعات والأنهاروالثلاجات. ويمكن إدخال المياه الباطنية ضمن هذا الغلاف أيضاً، حتى أن بعض الباحثين يصفون الأرض بأنها «كوكب المياه» وذلك لضخامة الغلاف المائي الذي يكسوها. ومن الصعب تحديد كمية المياه في الغلاف المائي للأرض بصورة دقيقة، وخاصة فيما يتعلق بتقدير كمية المياه الباطنية، ولكن يمكن القول بأن مجموع كمية المياه في الغلاف المائي بين ١٨٠٠ ـ ١٨٥٠ مليون كيلومتر مكعب، وهذه الكمية تتوزع على النحو التالي: ١٣٤٠ مليون كيلومتر مكعب في البحار والمحيطات، ٢٤ مليون كيلومتر مكعب فوق يابس الأرض (الأنهار والبحيرات والمستنقعات والثلاجات)، ٤٦٠ مليون كيلومترمكعب في داخل القشرة الأرضية حتى عمق ١٦ كيلومتر. وبناء على ذلك فإن معظم مياه الغلاف المائي توجد في المحيطات والبحار بحيث تزيد كميتها عن المياه السطحية بنحو ٥٥ مرة وعن المياه الباطنية بحوالى ثلاث مرات.

وتكونت المياه في الطبيعة مع تكوين الأرض، وخرجت إلى السطح من طبقة المانتل (الوشاح) Mantle مع الحمم البركانية والغازات الساخنة على مر الأزمنة الجيولوجية، إذ أن هذه المياه كانت مقيدة تقييداً كيميائياً وفيزيائياً في

الصخور الموجودة داخل باطن الأرض، ولا تزال كميات كبيرة من المياه تخرج إلى سطح الأرض مع الحمم البركانية والغازات عند انفجار البراكين. وبالإضافة إلى ذلك فإن كمية أخرى من المياه تكونت من الطبقات الجوية (على ارتفاع ٨٠ ـ ١٠٠ كيلومتر) بسبب الإشعاعات الكونية الآتية من الفضاء الخارجي، ولكن هذه الكمية قليلة جداً إذا ما قارناها بكمية المياه التي خرجت من باطن الأرض.

والمياه في الطبيعة في حركة مستمرة بين الأغلفة الثلاثة للأرض (الغلاف الصخري والجوي والمائي) فهي تتبخر من المسطحات المائية (البحار والمحيطات) بنسبة ٨٧٪ ومن سطح اليابس بنسبة ١٣٪ إلى الغلاف الجوي، ثم تسقط ثانية على سطح البحار والمحيطات واليابس، أي أن كمية المياه الموجودة في الغلاف الجوي ثابتة تقريباً. وهذه الدورة التي يشترك فيها اليابس والمسطحات المائية تسمى بالدورة الكبرى للمياه في الطبيعة، أما إذا لم يشترك اليابس في هذه الدورة، أي أن كمية المياه المتبخرة من سطح البحار والمحيطات تسقط ثانية على سطحها بعيداً عن وصولها إلى سطح اليابس، فتسمى الدورة عندئذ بالدورة الصغرى للمياه في الطبيعة. والحقيقة الثابتة إذن أن كمية المياه التي تتبخر من سطح البحار والمحيطات سنوياً تكون مساوية لكمية المياه التي ترجع ثانية إليها، وكذلك فإن كمية المياه السنوية التي تسقط على سطح اليابس تكون مساوية لنفس الكمية من المياه التي ترجع سنوياً من اليابس إلى البحار والمحيطات سواء كانت عن طريق المجاري المائية السطحية أو الباطنية أو عن طريق التبخر إلى الجو.

ويشتمل الغلاف المائي لكوكب الأرض على عدد كبير من المسطحات المائية التي تتألف منها الأجسام الكبرى للبحار والمحيطات التي تكون وحدها حوالى ٨٦,٥٪ من حجم الغلاف المائي، والبحيرات، والأنهار والتي تكون نحو ٠,٠٣٪ من حجمه، وأغلفة الجليد على سطح اليابس والتي تكون نحو ١,٣٪ من حجمه، والمياه الباطنية (الجوفية) المتسربة في صخور القشرة

الأرضية والتي تساهم بنحو ١٧,١٢٪ من حجم الغلاف المائي.

البحـار والمحيطـات

تغطي البحار والمحيطات نحو ٧١٪ (٣٦١ مليون كيلومتر مربع) من المساحة الكلية لسطح الأرض، ويبلغ حجم المياه فيها نحو ١٣٤٠ مليون كيلومتر مكعب، أي ما يعادل نحو ٨٠٠ / ١ من حجم الأرض، ولو كان سطح الأرض أملساً ومستوياً لغطته مياه البحار والمحيطات بارتفاع يصل إلى نحو ٢٤٠٠ متر.

ويستخدم لفظ «البحار Seas بمعناه العام ليشمل يكل البحار والمحيطات التي تغطي سطح الأرض، إلا أن المعنى الضيق لكلمة «بحر» يستخدم للدلالة على مناطق بحرية خاصة لها صلة مباشرة باليابس. والبحار بذلك ما هي إلا أجزاء من المحيطات أو فروعاً منها، كما أن لها صفات ومميزات تجعل لها شخصية جغرافية متفردة عن المحيطات الملاصقة لها، منها: أنها قليلة العمق نسبياً، إذاً لا يزيد عمق أغلبها عن ١٠٠٠ متر وقد يقل عن ذلك حتى أنه لا يزيد في بعضها عن ٢٠٠ متر، مثل البحر البلطي وبحر الشمال وغيرها من البحار التي تقع فوق المنطقة الضحلة المجاورة لليابس. ومن خصائص البحار أيضاً أنها غالباً محددة باليابس من أكثر من جهة واحدة أو قد تكون مقسمة بواسطة أرخبيل من الجزر. كما تختلف المياه في البحار عن مياه المحيط من حيث درجة الحرارة والملوحة وسرعة التبخر من مياهها وكثرة المياه المنصرفة إليها بواسطة الأنهار التي تصب فيها، فمياه البحر الأحمر أشد ملوحة نسبياً من المحيطات لأنه بحر شبه مغلق ولأنه يقع في أقليم صحراوي حار ولا تصب فيه مياه عذبة بواسطة الأمطار أو الأنهار، أما البحر البلطي فهو أقل ملوحة نسبياً من المحيطات بسبب وقوعه في أقليم بارد وكثرة الأمطار التي تسقط عليه مباشرة ولأنه تصب فيه أنهار كثيرة.

وتختلف البحار فيما بينها اختلافاً كبيراً في نشأتها الأولى وفي مساحاتها

وأعماقها ومواقعها وأشكالها ودرجة ملوحة مياهها وحركات المياه فيها، ومن هنا فإنه من الصعوبة بمكان أن يوضع لها تصنيف أو تقسيم شامل تراعى فيه كل هذه المحددات، وبناء على ذلك فإن البحار يمكن تقسيمها على أساس صلتها باليابس أو ارتباطها بالمحيط إلى ثلاثة أنواع هي:

١ ـ البحار الخارجية (الهامشية) Marginal Seas، وهي تقع على أطراف المحيطات، وعمق الماء فيها أقل من ٢٠٠ متر، وتعرف الحافة اليابسة التي تغطيها المياه بأقل من ٢٠٠ متر بالرف القاري. ويتصل هذا النوع من البحار بالمحيطات اتصالاً واضحاً عن طريق فتحات واسعة ومن أمثلتها بحر الصين وبحر اليابان والبحر الكاريبي وبحر بهرنج وبحر الشمال والبحر المتجمد الشمالي. ولا تختلف مياه هذه البحار كثيراً عن مياه المحيطات التي تتصل بها.

٢ ـ البحار القارية (المتوسطة) Mediterranean Seas، وهي البحار التي تتوغل في قلب يابس القارات، ولا تتصل بالمحيطات (أو بالبحار الأكبر منها) إلا عن طريق فتحات صغيرة أو مضايق ضحلة ولذلك فإنها تتأثر كثيراً باليابس المحيط بها، كما أن لكل منها ظروفه الخاصة من حيث أحواله المناخية وطبيعة مياهه ونوع الحياة الحيوانية التي تسود فيه. ومن أمثلة هذه البحار البحر المتوسط والبحر الأحمر والبحر الأسود والبحر البلطي وبعض الخلجان الكبيرة مثل الخليج العربي وخليج هدسون وخليج المكسيك.

٣ ـ البحار المقفلة (الداخلية) Inland Seas، وهي البحار التي يحيط بها اليابس من جميع الجهات ولا تربطها بالمحيطات أو البحار الهامشية أو القارية أية صلة ظاهرة. وقد تكون بعضها في أحواض أرضية كبيرة ملأتها المياه التي تنصرف إليها من اليابس المحيط بها، أو قد تكون متخلفة من بحار جيولوجية قديمة. وهذا النوع من البحار قليل العدد، ويوجد في قارة آسيا على وجه الخصوص مثل بحر قزوين وبحر آرال والبحر الميت، وهي كلها لا يمكن في الحقيقة تمييزها عن البحيرات.

٤ ـ البحار الجزرية Island Seas، وهي بحار تقع في داخل المحيطات تحيط بها حلقات من الجزر من معظم الجهات، وتتصل بالمحيط عن طريق المساحات المائية بين هذه الجزر. ومن أمثلة هذه البحار الجزرية بحر فيجي Fiji في المحيط الهادي.

والمحيطات Oceans ـ على عكس البحار ـ لم تكن مفصولة عن بعضها فصلاً تاماً في أي فترة من الفترات، بل أنها كانت دائماً متصلة ببعضها في نطاقات كبيرة. وأهم محيطات كوكب الأرض ثلاثة: المحيط الهادي والمحيط الأطلسي، والمحيط الهندي. ومع أن محيط كل منها محدد تحديداً واضحاً من معظم الجهات بواسطة اليابس فإن مياه أي منها تختلط من ناحية أو أكثر بمياه المحيط أو المحيطين المجاورين له على امتداد نطاقات طويلة. وتبدو هذه الحقيقة واضحة بصفة خاصة في النطاق المحصور بين دائرتي عرض ٤٠° و ٦٥° في نصف الأرض الجنوبي. وفي هذا النطاق تستخدم خطوط الطول كحدود تقريبية بين المحيطات. فمثلاً خط طول ٦٧° غرباً يمكن أن يتخذ كحد تقريبي بين المحيطين الأطلسي والهادي، كما يعد خط طول ١٠° شرقاً حداً بين المحيطين الأطلسي والهندي، وخط طول ١٦٠° شرقاً حداً تقريباً بين المحيطين الهندي والهادي.

ويعد المحيط الهادي أكبر محيط مساحة على سطح كوكب الأرض، كما أنه أشد المحيطات عمقاً. ويشغل المحيط الهادي مساحة تبلغ حوالى ٥١٪ من المساحة الكلية للمحيطات، ويبلغ متوسط عمقه حوالى ٣٩٤٠ متراً. ويحتوي المحيط الهادي كذلك على أشد بقاع المحيطات عمقاً، وتوجد هذه البقاع في مناطق الأخاديد البحرية التي تقع إلى الشرق من جزر الفلبين، وفيها قد يزيد العمق على ١١٠٠ متر.

والمحيط الأطلسي هو أطول المحيطات وذلك لأنه مفتوح من الناحيتين الشمالية والجنوبية، بحيث يمكن اعتبار البحر المتجمد الشمالي امتداداً له،

وعلى هذا الأساس فهو يمتد من القطب الشمالي حتى دائرة عرض ٧٠° جنوباً أي لمسافة ١٦٠° درجة عرضية. ويتميز هذا المحيط كذلك بكثرة الأنهار التي تصب فيها مياهها من كل القارات المحيطة به. ويبلغ متوط عمقه نحو ٢٣١٠ متر، وهو بذلك أقل المحيطات عمقاً، ويرجع السبب في ذلك إلى البحار الهامشية الضحلة التي تتصل به أكثر عدداً من أي محيط آخر، ومن أهمها خليج المكسيك والبحر الكاريبي وبحر الشمال والبحر البلطي.

أما المحيط الهندي فيتصف بأن قسماً كبيراً منه يقع في النصف الجنوبي من الأرض، كما أنه أكثر المحيطات الثلاثة تأثراً باليابس بسبب وقوعه بين ثلاث قارات، فهو مقفل تقريباً من ناحية الشمال بواسطة كتلة قارة آسيا، كما أنه مقفل من ناحية الشرق تقريباً بواسطة قارة استراليا والجزر التي تقع بينها وبين قارة آسيا حتى دائرة عرض ٤٥° جنوباً، وهو مقفل كذلك من ناحية الغرب حتى دائرة عرض ٣٥° جنوباً بواسطة كتلة قارة إفريقيا. وكان من تأثيرات اليابس عليه أن انقلب فيه نظام التيارات البحرية ونظام الرياح انقلاباً تاماً بين فصلي الشتاء والصيف.

تضاريس قيعان المحيطات

تعد تضاريس قيعان المحيطات من الناحيتين الجيولوجية والجيومورفولوجية أقل تعقيداً من تضاريس اليابس. وهذا لا يعني أن قيعان المحيطات مستوية، بل أنها تتضمن كثيراً من المظاهر التضاريسية التي لا تختلف عن المظاهر التضاريسية على اليابس إلا في بعض أشكالها الخارجية وأنواع التكوينات الرسوبية التي تغطيها، وذلك بسبب اختلاف العوامل التي تؤثر فها. فبينما تخضع تضاريس اليابس باستمرار لتأثير عوامل الهدم والبناء (عوامل التعرية) فإن تضاريس قيعان المحيطات لا تتأثر إلا بحركات المياه وطبيعتها من حيث الملوحة ونوع الكائنات الحية والرواسب التي توجد فيها. وأهم المظاهر التضاريسية التي يمكن تمييزها ابتداء من ساحل المحيط حتى أواسطه والتي

تتضح بسهولة عند الاستعانة بالمنحنى الهيسوجرافي للأرض (شكل رقم: ٧ ـ ٣، راجع الفصل الثالث من الكتاب)، هي:

(١) الرفوف القارية

وهي مناطق الانتقال بين يابس القارات ومياه المحيط التي لا يزيد عمقها عن ٢٠٠ متر (١١٠ قامة[1])، أي أنها تشمل كل المناطق الضحلة المجاورة لليابس مباشرة. وهي بذلك تعد امتداداً لليابس لأنها أكثر ارتباطاً به من حيث التركيب الجيولوجي منها بقاع المحيط، ولأنها لم تكن دائماً مغمورة بمياه البحر بل كانت تتحول في كثير من العصور إلى أرض يابسة إما بسبب ارتفاع اليابس أو انخفاض سطح البحر أو كليهما معاً. وبالإضافة إلى ذلك فإن الانتقال بينها وبين اليابس يحدث تدريجياً بينما يحدث الانتقال بينها وبين قاع المحيط بشكل سريع أو فجائياً في كثير المناطق. وتقدر المساحة الكلية للرفوف القارية في العالم بنحو ٢٩ مليون كيلومتر مربع. وتمتد الرفوف القارية حول كل كتل يابس الأرض تقريباً، ولكنها تختلف في الاتساع اختلافاً كبيراً من مكان لآخر وبذلك فإنها تنتمي إلى القارات جيولوجياً وإلى المحيطات جغرافياً. وتقع على الرفوف القارية البحار الهامشية القارة أوروبا مثل البحر البلطي وبحر الشمال والبحر الأدرياتي والبحر الأسود. وتضيق الرفوف القارية، بل تكاد تختفي بجوار السواحل التي نشأت نتيجة لحركات انكسارية مثل سواحل إفريقيا والبرازيل والهند.

وتتميز الرفوف القارية بكثرة الرواسب غير المتماسكة التي تتراكم على سطحها، كما أنها أغنى مناطق البحار في ثروتها السمكية بسبب كثرة ما ينمو بها من الكائنات العضوية، وبها أيضاً ثروات بترولية ومعدنية كبيرة، كما أن بعض أجزائها المجاورة لليابس يمكن تجفيفها واستخدامها في الزراعة.

---

(١) القامة تعادل ٦ أقدام (١,٨٠ متر)، وهي الوحدة التقليدية لقياس الأعماق.

(٢) المنحدرات القارية

وهي المناطق التي تفصل بين الرفوف القارية وقاع المحيط، أي أنها تبدأ عند نهاية الرفوف القارية، من خط عمق ٢٠٠ متر، وتستمر حتى تصل إلى العمق السائد في قاع البحر أو المحيط، وهو عمق يتراوح في معظم البحار والمحيطات بين ٣٠٠ و ٦٠٠٠ متر. وتعد المنحدرات القارية، من الناحية التكتونية والجيولوجية، جوانب القارات أو حافات لأحواض المحيطات. وتتميز المنحدرات القارية بقلة الرواسب غير المتماسكة التي تغطيها إذا ما قورنت بالرفوف القارية، كما أنها أفقر في ثرواتها السميكة وكائناتها الحية. كما تتميز بأن سطحها تقطعه في بعض الأماكن ودياناً وخوانق مغمورة عميقة Submarine Canyons جوانبها شديدة الانحدار. وقد كان يعتقد أن هذه الوديان كانت في الأصل ودياناً نهرية ثم طغت عليها مياه البحر، إلا أن البعض يعتقد بأن بعض هذه الوديان قد نحت في سطح المنحدر القاري بواسطة تيارات السحب السفلية التي تصاحب التيارات المائية القوية التي تستطيع بما تحمله من مواد صلبة كثيرة أن تحفر قنوات عميقة في المنحدر القاري. ومن أشهر أمثلة هذه الوديان المغمورة الوادي الممتد أمام مصب نهر هدسون في ولاية نيويورك. والذي أوضحته المرئيات الفضائية. كما يعتقد بأن هذه الوديان عبارة عن امتداد لوديان الأنهار القارية نحو قاعد المحيط، فمثلاً وادي نهر لينا Lena في شمال سيبيريا يخترق الرف القاري تحت مياه المحيط المتجمد الشمالي وينحدر فوق المنحدر القاري نحو قاع المحيط.

قاع المحيط

وهي المنطقة الواقعة في أسفل المنحدر القاري، حيث يقل الانحدار بدرجة كبيرة، وتصبح المنطقة سهلية واسعة تغطيها الرواسب الطينية والعضوية التي معظمها من مصدر غير قاري، فتوجد هناك أنواع مختلفة من الطين منها

الأزرق والأحمر والأخضر، بالإضافة إلى ما يترسب فيها من بقايا الحيوانات والنباتات البحرية التي تعيش في الطبقات العليا من مياه المحيط، وتختفي الحياة فوق قاع المحيط بسبب الضغط الهائل للمياه الذي لا تتحمله الكائنات الحية، بالإضافة إلى أن أشعة الشمس لا تصل إليها لعمقها الكبير الذي يتراوح معدله بين ٢٤٠٠ ـ ٦٠٠٠ متر.

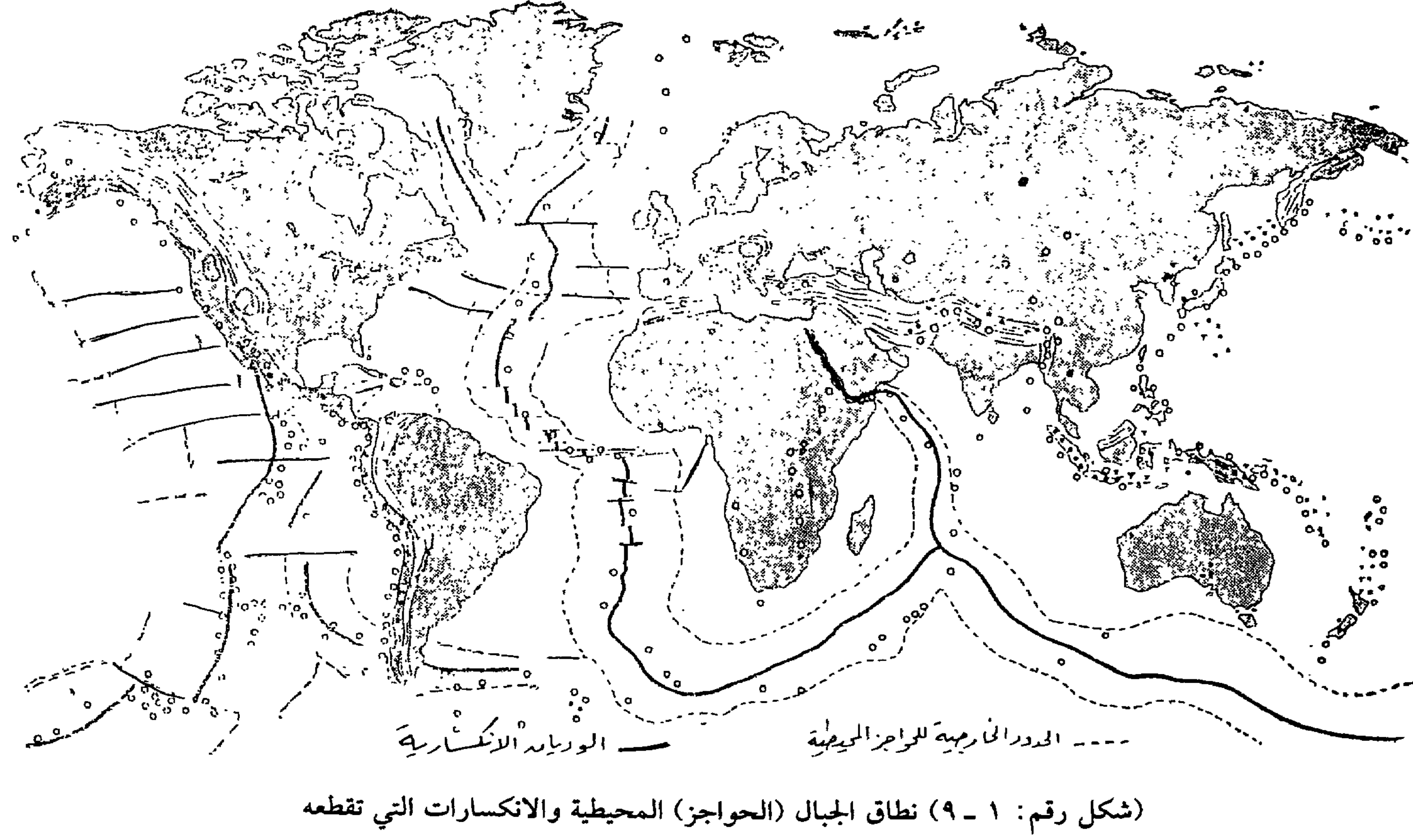
ويشغل قاع المحيط مساحة تقدر بنحو ٨٠٪ من مساحة المحيطات، والتضاريس بصورة عامة سهلية، ولكن يمكن تمييز أنواع أخرى من التضاريس التي تشغل أحياناً مساحات واسعة منه مثل السلاسل الجبلية أو الحواجز المحيطية والهواة العميقة والأخاديد والأغوار الانكسارية والمخروطات البركانية.

والسلال الجبلية أو الحواجز المحيطية Oceanic Ridges عبارة عن سلاسل جبلية تمتد تحت سطح الماء لمسافات طويلة، وتضم كثيراً من المظاهر التضاريسية التي نعرفها على يابس سطح الأرض مثل الوديان والانكسارات والهضاب والقمم البركانية. وتكونت هذه السلاسل بسبب الحركات التكوينية الانكسارية الهائلة في قشرة الأرض كما أنها تمثل الخطوط التي تفتقت عنها طبقة السيال وتزحزت مكونة القارات، وبذلك فإنها لا زالت في حالة شد نحو الجانبين من المركز الأخدودي. وهي محتفظة بظواهرها التضاريسية الأصلية تقريباً وذلك لأنها ليست معرضة لقوى التعرية، ونتيجة لذلك نجد أن سفوحها شديدة الانحدار وتفصل بين سلسلة وأخرى أودية انكسارية ضيقة وعميقة. ويوجد من هذه السلاسل نطاق ضخم جداً يمتد في وسط المحيط الأطلسي (يعرف بسلسلة الأوسط Mid-Attantic Ridge) من جزيرة ايسلندة في الشمال حتى القارة القطبية الجنوبية في الجنوب، أي لمسافة ١٥٠٠٠ كيلومتر تقريباً. ويبلغ عرض هذا النطاق ما بين ١٥٠ و ٢٠٠ كيلومتر، وهو يقسم المحيط الأطلسي إلى حوضين كبيرين أحدهما شرقي والآخر غربي، ولا تقل السلاسل الجبلية المكونة له في ضخامتها عن كثير من سلاسل الجبال الكبرى على اليابس

مثل جبال الروكي، ولكنها لا تظهر على السطح إلا في منطقتين إثنتين هما منطقة جزر أزور في الشمال ومنطقة جزر أسانسيون في الجنوب، حيث أن هذه الجزر عبارة عن القمم البارزة لبعض جبال هذا النطاق. وفيما عدا ذلك فإن كل السلاسل الجبلية تقريباً توجد على عمق يتراوح بين ١٥٠٠ و ٢٧٥٠ متراً تحت سطح الماء، بينما يبلغ متوسط ارتفاعها فوق القاع حوالى ١٥٠٠ متر.

وليس النطاق الجبلي أو حاجز وسط الأطلسي إلا قسماً من نطاق أعظم منه ممتد في كل المحيطات، فمن جنوب المحيط الأطلسي تواصل السلاسل الجبلية امتدادها في المحيط الهندي والمحيطات القطبية الجنوبية والمحيط الهادي (شكل رقم: ١ ـ ٩) ويبدو أن هذا النطاق بأكمله هو أحد نطاقات الانكسارات الكبرى في قشرة الأرض. ولقد كان من نتائج حركات الانكسارات على طوله أن تكونت سلسلة متصلة من الوديان (أو الأخاديد) الانكسارية التي تشقه طولياً على طول محورة الأوسط، وذلك بالإضافة إلى كثير من الانكسارات الصغيرة التي تقطع الحواجز الجبلية في اتجاه مستعرض كما يتميز الحاجز الأطلسي وبقية الحواجز الأخرى بكثرة الزلازل السطحية، ويعتقد بأنها قامت نتيجة الحركة انكسارية هائلة في قشرة الأرض، وأنها تمثل الخطوط التي تفتقت عنها طبقة السيال وتزحزحت مكونة القارات. فهذه السلاسل أو الحواجز لا تزال في حالة شد نحو الجانبين من المركز الأخدودي. وقد ثبت ذلك من دراسة الأخدود الذي يخترق أيسلندة إذ يتزايد اتساعه كل عام.

وفي عام ١٩٤٨/١٩٤٩ اكتشفت سلسلة جبلية غارقة (حاجز محيطي) تحت الطبقات الجليدية للمحيط المتجمد الشمالي، سميت باسم العالم الروسي المشهور لومونو سوف، ويبلغ طول هذه السلسلة أو الحاجز ١٨٠٠ كيلومتر وارتفاعها بين ٢٥٠٠ ـ ٣٣٠٠ فوق قاع المحيط.



(شكل رقم: ١ ـ ٩) نطاق الجبال (الحواجز) المحيطية والانكسارات التي تقطعه

ومن الملامح الأخرى لقاع المحيط المخروطات البركانية الغاطسة والأخاديد والهوات (الأغوار) المحيطية بالإضافة إلى السهول العميقة. وقاع المحيط يعد أملساً فيما عدا الجبال والجزر المغمورة التي يرجع بعضها إلى براكين قديمة.

والمخروطات البركانية الغاطسة Guyots عبارة مخروطات بركانية توجد قممها على عمق كبير تحت ماء المحيط. وهي تتميز بقممها المسطحة الواسعة التي تجعلها أشبه بالهضاب. ويبلغ قطرها عشرات الكيلو مترات، إلا أن بعضها يتميز بقممه المستديرة. ويظهر هذا النوع الأخير عادة بشكل جبال منعزلة. وقد لوحظ أن السطح العلوي لكثير من المخروطات البركانية الغاطسة مقطع بواسطة قنوات كثيرة. والغالب هو أن هذه المخروطات كانت ترتفع إلى السطح وأن نحت الأمواج هو الذي قطعها بهذه الصورة قبل أن تهبط إلى الأعماق التي توجد فيها في الوقت الحاضر.

أما الأخاديد المحيطية Tranches فهي عبارة عن وديان طولية شديدة العمق تقطع قاع المحيطات في أماكن مختلفة، وأما الهوات (الأغوار) Deeps أو Troughs فهي مناطق حوضية شديدة العمق (أكثر من ٦٠٠٠ متر) في الأخاديد أو في أي موضع آخر. ويطلق تعبير «هوة أوغور Deep»، عادة على الأعماق التي تزيد على ٥٥٠٠ متر تحت سطح المحيط ولا تمثل الأخاديد والهواة إلا نسبة ضئيلة جداً من قاع المحيطات. وعلى الرغم من أن أسباب نشأتها غير معروفة بالضبط فالغالب هو أنها تكونت بسبب الحركات التكتونية، ولذلك فإنها توجد غالباً في المناطق التي تأثرت بهذه الحركات، ومن أهمها الحركات الإلتوائية الكبرى التي حدثت في شرق آسيا وغرب المحيط الهادي، والتي أدت إلى ظهور أقواس الجزر الجبلية التي تمتد من مضيق بهرنج في الشمال حتى جزر أندونيسيا في الجنوب، فبجوار هذه الأقواس توجد أكبر الأخاديد البحرية عمقاً في المحيطات، ومنها أخدود الفلبين الذي يمتد إلى الشرق من هذه الجزر، والذي يصل العمق في أحد أجزائه وهو عمق سويار Swire Deep إلى

١٠٨٦٠ متراً. ويكاد العمق يصل إلى نفس هذا الحد تقريباً في أخدود آخر في الشمال هو أخدود كوريل ـ كمتشتكا. ومن أهم الأخاديد الأخرى في المحيط الهادي الأخدود الواقع إلى الشرق من جزر اليابان، والأخدود الذي يمتد بشكل قوس كبير حول نطاق الجزر الممتدة إلى الجنوب من اليابان ومنها جزر بونين في الشمال وجزر جوام في الجنوب.

أما في المحيط الأطلسي فتوجد معظم الأخاديد في وسط المحيط حيث يمتد أغلبها في وسط النطاق الجبلي ويسير معه في نفس الاتجاه، بينما يقطعه عدد كبير منها في اتجاه متعامد على امتداد. أما أعمق أجزاء هذا المحيط فتوجد في أخدود بور توريكو الواقع إلى الشرق من جزر بور توريكو، في غرب المحيط، وفيه يصل العمق إلى ٩٢٥٠ متراً.

وبغض النظر عن المظاهر التضاريسية السابقة فإن مساحات شاسعة من قاع المحيطات عبارة عن سهول تتميز باستواء سطحها تقريباً، تعرف بالسهول العميقة Abyssal Plains. وربما يكون بعض هذه السهول قد تكون نتيجة للإرساب المستمر للمواد الناعمة على طول ملايين السنين وانتشارها على مساحات واسعة من القاع وتغطيتها للمظاهر التضاريسية الأخرى. ومثال ذلك السهل الواسع الذي تتكون منه مساحة واسعة من قاع المحيط الأطلسي الشمالي، والذي يوجد على عمق حوالى ٥٥٠٠ متر تحت سطح المحيط. ومع ذلك فتبرز على سطحه بعض الجبال المنعزلة Seamounts التي ربما كانت عبارة عن مخروطات بركانية قديمة. ويوجد إلى الشمال من أخدود بور توريكو سهل عميق من هذا النوع يعرف باسم سهل نيرز العميق Nares Abyssal Plain.

طبيعة مياه البحار والمحيطات

(١) الملوحـة:

تحتوي مياه البحار والمحيطات على أنواع مختلفة من العناصر الملحية المذابة التي توجد عادة بنسب ثابتة في مياه كل المحيطات الكبرى، ولكنها قد

تتباين نوعاً ما في البحار المتوسطة والبحار الداخلية على حسب ظروف كل منها. وقد اكتشف حتى الآن ٤٤ عنصر من العناصر الملحية المعروفة، ومن أكثر العناصر الملحية انتشاراً في مياه المحيطات هو ملح الطعام (كلوريد الصوديوم)، ومن العناصر الأخرى المذابة في مياه البحار والمحيطات الفضة والذهب والأكسجين وثاني أكسيد الكربون والنتروجين. وتقدر كمية الأملاح في مياه البحار والمحيطات بنحو ٤٨×١٠^١٥ طناً، وهذه الكمية تكفي لتشكيل طبقة ملحية حول الأرض يقدر سمكها بنحو ٤٥ متراً، أو تشكل طبقة فوق يابس الأرض فقط يقدر سمكها بنحو ١٥٢ متراً. وتستفيد الكائنات الحية البحرية من حيوانات ونباتات بجزء من هذه الأملاح في تكوين عظامها وهياكلها، كما يترسب جزء آخر منها على قاع المحيط، ويدخل جزء ثالث من هذه الأملاح أيضاً في تركيب الصخور الرسوبية.

وتتراوح ملوحة البحار والمحيطات بين ٣٣ و ٣٧ في الألف. ومع ذلك فإن هذه النسبة تختلف بين محيط وآخر أو بين أجزاء المحيط الواحد، ويرجع ذلك إلى عوامل مختلفة منها: كمية المياه العذبة التي تجلبها الأنهار، فمصبات الأنهار عادة أقل ملوحة من باقي أقسام المحيط. وكذلك تؤثر النسبة بين كمية التساقط والتبخر من سطح المحيطات، ففي المياه الاستوائية تبلغ درجة الملوحة في المعدل ٣٥ في الألف وفي المياه المدارية ٣٦ ـ ٣٧ في الألف وفي المياه المعتدلة ٣٢ ـ ٣٣ في الألف. وفي بعض البحار كالبحر الأحمر مثلاً تبلغ درجة الملوحة أكثر من ٤١,٥ في الألف وذلك لوقوعه في ممنطقة مدارية حارة وجافة، و ٣٩ في الألف في البحر المتوسط و ٦ ـ ٨ في الألف فقط في بحر البلطيق. وأشد مياه البحار والمحيطات في العالم ملوحة هي مياه البحر الميت، وتبلغ درجة ملوحتها ٢٧٥ في الألف، ولهذا السبب فإن كثافتها مرتفعة بدرجة تجعل من الصعب على معظم الأجسام الحية أن تغوص فيها. وفضلاً عن ذلك فإن ارتفاع درجَة ملوحة المياه يؤدي إلى انخفاض درجة تجمدها. ولذلك فإن مثل هذه المياه قد تظل سائلة في درجات أقل من درجة الصفر المئوي.

وكلما زادت درجة الملوحة زادت كثافة الماء، فكثافة مياه المحيط تعني النسبة بين وزن حجم معين (سم٣) من المياه في درجة حرارية معينة إلى وزن نفس الحجم في درجة حرارة + ٤° مئوية، وذلك لأن الماء يكون في أكثف حالاته عند هذه الدرجة. فمعدل كثافة مياه المحيطات بين ١,٠٢١٠ - ١,٠٢٧ وفي بحر البلطيق ١,٠١ وفي البحر الأحمر ١,٠٢٨، وتختلف كثافة المياه من فصل لآخر بسبب التغير في درجات الحرارة.

(٣) درجة حرارة المياه:

تستقبل البحار والمحيطات حرارتها بالدرجة الأساسية من أشعة الشمس، ومن مصادر أخرى هي: تكوين الكتل الجليدية ومياه الدافئة التي تجلبها الأنهار من اليابس ومن الهواء الملامس لسطح الماء. كما أن الطبقة المائية السفلى تستقبل جزء من حرارتها من باطن الأرض. فمثلاً يستقبل البحر الأسود ٨٨٪ من حرارته من الشمس و١٢٪ من المصادر أخرى التي ذكرناها. وتفقد مياه البحار والمحيطات حرارتها عن طريق التبخر وذوبان الجليد، وتسخين المياه الباردة التي تجلبها الأنهار وتسخين الهواء الملامس لسطح الماء. وتتميز درجة جرارة المياه عموماً بأنها لا تتغير بالسرعة التي تتغير بها درجة حرارة الأجسام الصلبة، فهي بعبارة أخرى تسخن ببطء وتبرد ببيط.

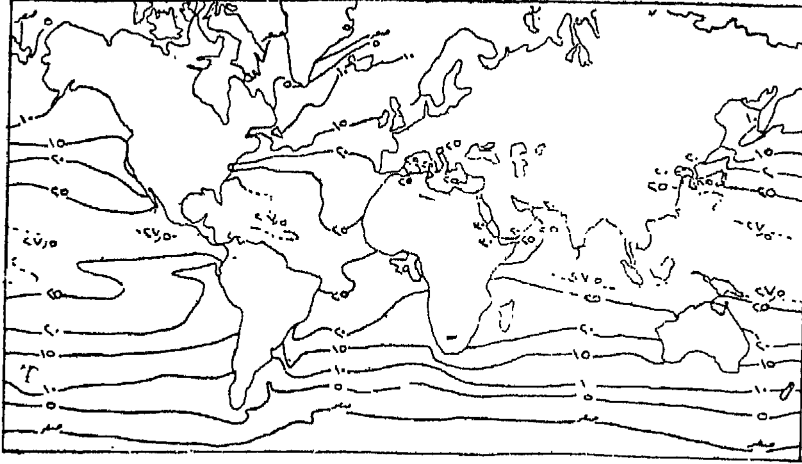
ويعد التوزيع الحراري اليومي والشهري والسنوي أكثر انتظاماً في المحيطات منه في القارات، وذلك لأن الماء يحتاج عادة إلى كمية من الحرارة أكبر من الكمية التي تحتاج إليها حجم مساو له من اليابس لكي ترتفع درجة حرارة كل منهما بنفس النسبة، ومعنى ذلك أن البحار تستطيع أن تمتص كميات كبيرة من الحرارة دون أن ترتفع درجة حرارتها ارتفاعاً كبيراً، كما أنها تستطيع أن تفقد كميات منها كذلك دون أن تنخفض درجة حرارتها انخفاضاً كبيراً كذلك. ولهذا السبب نجد أن الفروق الحرارية الكبيرة التي تظهر على اليابس لا يوجد لها نظير في البحار، فبينما ترتفع درجة الحرارة في بعض أيام الصيف في

الصحارى المدارية إلى ٥٠° مئوية وتنخفض في بعض أيام الشتاء في بعض البقاع القارية الباردة من سيبيريا إلى ـ ٧٠° مئوية فإن مياه البحار والمحيطات يندر أن ترتفع درجة حرارتها عن ٣٠° م أو تنخفض عن ـ ٢° م

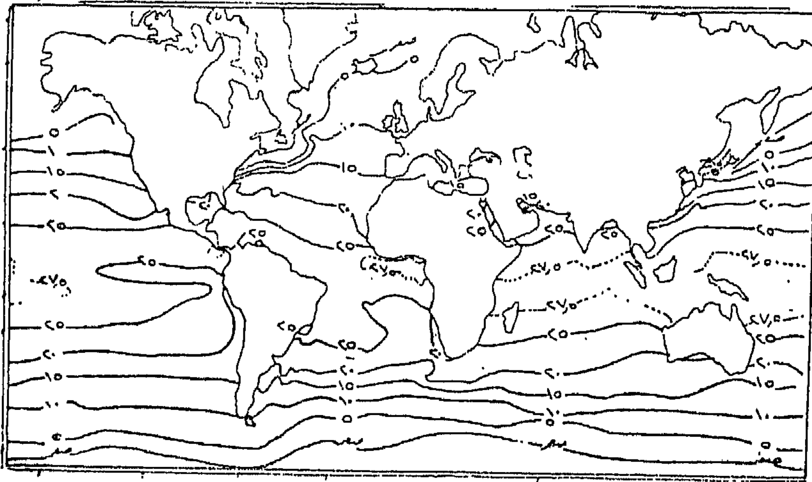
ويتأثر المعدل السنوي لحرارة مياه المحيطات بالموقع الجغرافي والدورة العامة للرياح والتيارات البحرية، فمثلاً في المناطق المدارية وبسبب مرور التيارات المائية الدافئة في الأقسام الغربية من المحيطات، نجد أن معدل الحرارة السنوي أعلى من الأقسام الشرقية الواقعة على نفس دوائر العرض، وذلك لأن الرياح التجارية تدفع المياه السطحية الدافئة من الأقسام الشرقية نحو الجنوب ويؤدي هذا الدفع إلى صعود مياه باردة من الأسفل لتحل محل المياه الدافئة.

وتبلغ أعلى درجة حرارة للمياه السطحية من المحيطات في المنطقة المدارية للمحيط الهادي (+ ٣٢° مئوية) في شهر أغسطس (آب)، وأخفض درجة (ـ ١,٧° مئوية) في المحيط المتجمد الشمالي في شهر يناير (كانون الثاني)، أما معدل حرارة مياه المحيطات فتقدر بنحو ٣,٨° مئوية (شكل رقم: ٢ ـ ٩، ٣ ـ ٩).

وكقاعدة عامة فإن حرارة مياه البحار والمحيطات تأخذ في الانخفاض من السطح إلى القاع، ولكن سرعة الانخفاض تختلف من منطقة إلى أخرى ومن طبقة إلى طبقة. ففي المياه الاستوائية والمدارية، بسبب الارتفاع الكبير لحرارة المياه السطحية، تنخفض درجة حرارة المياه بسرعة مع العمق. بينما نجد أن انخفاض الحرارة أكثر انتظاما من مياه الأقاليم المعتدلة. أما في المياه القطبية فدرجات الحرارة تنخفض حتى عمق ٥٠ ـ ١٠٠ متر ثم تبدأ في الارتفاع وتصل إلى أعلى حد لها عند عمق ٢٠٠ ـ ٦٠٠ متر حسب المناطق. أما السبب في توزيع درجات الحرارة على هذا المنوال في المياه القطبية فيرجع إلى دخول مياه دافئة ومالحة من الأقاليم المعتدلة، وبما أن هذه المياه أعلى كثافة من المياه



(شكل رقم: ٢ ـ ٩) معدلات درجة حرارة سطح مياه البحار والمحيطات في شهر يناير



(شكل رقم: ٣ ـ ٩) معدلات درجة حرارة سطح مياه البحار
والمحيطات في شهر أغسطس

القطبية العذبة نسبياً فهي تتحرك وتتجه إلى الأسفل. وتحت عمق ١٠٠٠ متر تصل درجة الحرارة عادة إلى ٤ أو ٥ درجات مئوية، أما حرارة قاع المحيط فتصل إلى درجة أو درحتين مئوية في العروض العليا وثلاث درجات مئوية من المناطق المعتدلة والاستوائية. وفضلاً عن ذلك فإن الحرارة التي يكتسبها سطح مياه البحار والمحيطات في العروض الحارة لا يقتصر تأثيرها على مياه هذه العروض أو على مناخ سواحلها وإنما تنتقل بعض حرارتها بواسطة التيارات البحرية المعروفة في المناطق التي تمر بها والتي قد يبعد بعضها عن المناطق التي اكتسبت فيها الحرارة بآلاف الكيلومترات.

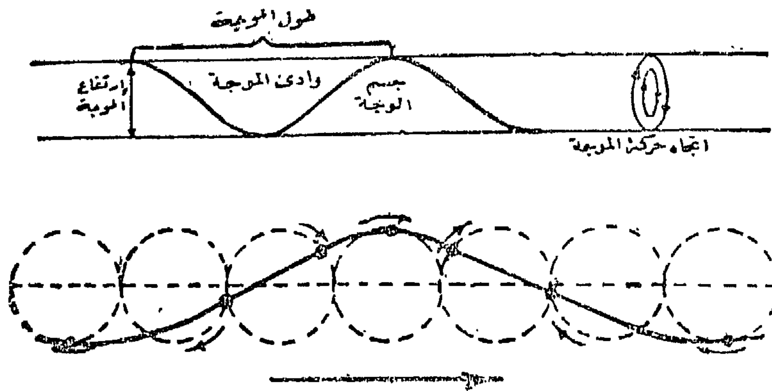
حركة المياه في البحار والمحيطات

تتصف مياه البحار والمحيطات بأنها في حركة دائمة أفقياً ورأسياً وذلك لوقوعها تحت تأثير مؤثرات طبيعية كالرياح وقوى الجاذبية والتساقط والتبخر من سطح المحيطات والاختلاف في الضغط الجوي وخواص المياه الكيميائية والفيزيائية. ويمكن تصنيف هذه الحركة إلى: الأمواج والمد والجزر والتيارات البحرية.

(١) الأمـواج:

الموجة اضطراب في الماء ينجم عنه حركة جزيئات الماء لمسافات معينة بالنسبة لوضعها الأول. أي أن الأمواج ليست كتلاً متحركة من الماء، فالماء باق في مكانه تقريباً وأن الذي يتحرك هو شكل الوجة، وبذلك فإن حركة الماء تعد حركة ظاهرية. فعندما يمر الشكل الموجي تتحرك معه جسيمات أو دقائق الماء الفردية إلى أعلى وإلى أسفل في مسار دائري أو أهليلجي (شكل رقم: ٤ ـ ٩) متعامد على اتجاه الموجة، ثم يعود قريباً من مكانه الأول ولو أن الاحتكاك يسبب بالفعل حركة يسيرة إلى الأمام، لكن الموجة تتحول إلى كتل مائية متحركة وذلك عندما تتلاطم وتتناثر على الشاطىء، أي عندما تصبح المنطقة

ضحلة جداً بحيث أن عمق القاع لا يساعد على أن تأخذ الموجة ارتفاعها الطبيعي وعندئذ تتكسر الموجة. ويرجع السبب في تكوين الموجة إلى هبوب الرياح في الاتجاه معين أو بسبب حدوث الزلازل وانفجار البراكين في قاع البحار والمحيطات أو التغير في الضغط الجوي.



(شكل رقم: ٤ ـ ٩) حركة الأمواج

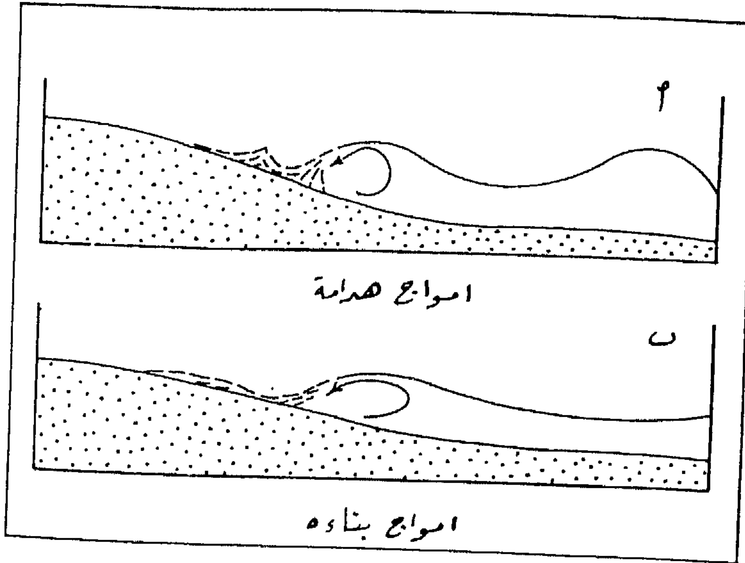
ولكل موجة من الموجات سرعة انتشار معينة وسرعة تردد معينة كذلك، كما أن لكل موجة طول معين وارتفاع معين كذلك. والمقصود بطول الموجة هو المسافة بين قمتي أو بين قاعي موجتين متجاورتين، أما المقصود بارتفاعها فهو المسافة بين قمتها وقاعها. وكثيراً ما تختلط أو تتابع أنواع متباينة الأحجام من الأمواج في نفس المنطقة فتعطي سطح البحر مظهراً معقداً، ويحدث هذا عادة إذا تقابلت الموجات القادمة من اتجاهات مختلفة. أما سرعة الموجة فهي المسافة (مساوية لطول الموجة) التي تقطعها قمة الموجة في فترة زمنية محدودة. أما مدة أو فترة الموجة، فهي الزمن الذي خلاله ينتقل كل جزء من أجزاء الموجة مسافة تساوي طول الموجة نفسها، أي زمن مرور قمتين متتاليين

بنقطة ثابتة. وتتوقف سرعة الأمواج على عدة عوامل أهمها سرعة الرياح ومدة الهبوب، فمهما كانت قوة الرياح، فإنها إذا هبت لمدة وجيزة، لا يمكن أن تسبب أمواجاً عالية، كذلك لسعة المسطح المائي الذي تتولد عليه الأمواج أثر في حجم الأمواج وسرعتها، ويتضح أثر هذا العامل بملاحظة ما يحدث حينما تهب رياح خارجة من اليابس إلى المحيط، فبالقرب من الساحل تبدأ الأمواج الصغيرة في التكون، ويكبر حجمها بالتدريج كلما أوغلت داخل المحيط، حتى تأتي نقطة يتلاشى فيها أثر مساحة المسطح المائي، ويصبح حجم الأمواج وسرعتها مرتبطان فقط بسرعة الرياح. ومن المعتقد أن أية شقة مائية تزيد أبعادها على ١٥٠ كيلومتراً تكون كافية لتكوّن الأمواج العالية.

وتقسم الموجات إلى الموجات القصيرة والطويلة، ففي الأولى يكون ارتفاع الموجة أقل بكثير من طولها والثانية يكون ارتفاعها أكبر من طولها. ويتفاوت ارتفاع الموجات بين ٤ ـ ٥ ,٤ متر في داخل المحيطات وأقل من ذلك في البحار، أما في أثناء العواصف القوية فيصل إلى ١٦ ـ ٢٨ متراً وأحياناً إلى ٢٥ متراً، أما طول الموجة فيصل إلى ١٠٠ ـ ٢٠٠ متراً وفي الموجات العاصفة إلى أكثر من ٨٠٠ متر.

وتتكسر الموجة عندما تقترب من الشواطىء وذلك لأن سرعتها وطولها ينقصان، أما ارتفاعها فيزداد، ويصبح عندئذ عمق الماء أقل من ارتفاع الموجة، وخاصة إذا أصبحت النسبة بين العمق وارتفاع الموجة كالنسبة بين ٣ : ٤، أي أن الموجة التي ارتفاعها ٣ أمتار تنكسر حتى لو كان عمق الماء أربعة أمتار. وتتكسر الموجة أيضاً عندما تتجاوز سرعة جسيمات الماء في القمة حينما تدفعها الرياح وتزيد سرعة الموجة نفسها، أي يتحول المسار الذي تسلكه جسيمات الماء من الشكل الدائري إلى البيضاوي. ويؤدي هذا التحول إلى زيادة طول هذا المسار في نفس الوقت الذي تقل كمية المياه بالموجة بسبب قصر طولها، وبالتالي تكون كمية المياه أقل من القدر اللازم لإتمام الدورة بالمسار، فيصبح الجانب الأمامي من الموجة فراغاً، تهوي به قمة الموجة فتتحطم أو تنفض

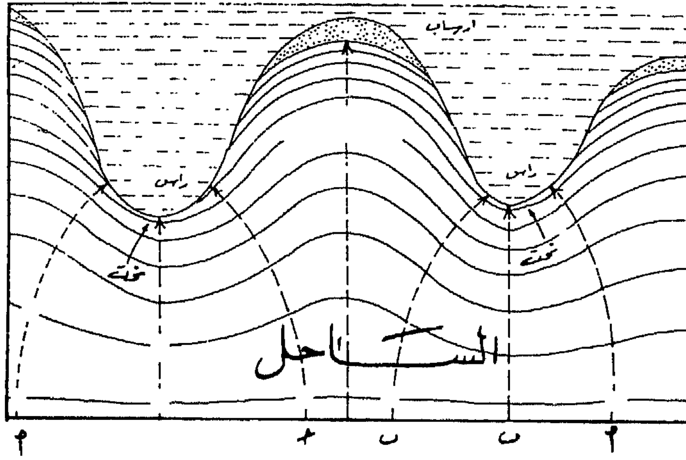
وتتلاشى (شكل رقم: ٥ ـ ٩).



(شكل رقم: ٥ ـ ٩) تكسر الأمواج وتحطمها

ومما تجدر الإشارة إليه أن العمق الذي يحدث عنده التكسر يعتمد في الواقع على بعض العوامل الأخرى التي لا علاقة لها بالموجة نفسها، كطبيعة القاع وشكل الساحل أو وجود الحواجز عند اقتراب الموجة من الساحل، فمثلاً تضعف الأمواج بشكل ملحوظ عندما تمر فوق الأماكن القليلة العمق نسبياً. ومن ثم سيكون اتجاه قمم الأمواج موازياً لخطوط الارتفاعات المتساوية على القاع، أي أن خطوط القمم ستنحني حسب هذه الارتفاعات، وبالتالي يعاد توزيع طاقة الأمواج عند ارتطامها بالساحل. ففي المياه العميقة تكون خطوط القمم مستقيمة متوازية والطاقة موزعة عليها بالتساوي، فإذا فرض ورسمنا أعمدة من هذه الخطوط لتعبر عن توزيع طاقة الأمواج فإن القاع إذا كان مستوياً، والساحل يخلو من التعاريج، فسوف تظل خطوط القمم متوازية مستقيمة، وأعمدة الطاقة المنبعثة منها موزعة بالتساوي على خط الساحل. أما إذا كان الساحل متعرجاً، والقاع أمامه مضرساً، فإن خطوط القمم سوف تنثني، والطاقة

الناتجة عن تحطم الأمواج على الساحل ستتوزع بشكل آخر، بحيث تتركز الطاقة على الأجزاء البارزة، وتقل على الخلجان أو الجهات ذات القاع الأقل عمقاً، ولذلك تتعرض الأجزاء البارزة (الرؤوس) من السواحل لنشاط هدمي للأمواج أكثر من الجهات الغائرة في اليابس (الخلجان) (شكل رقم: ٦ ـ ٩).



(شكل رقم: ٦ ـ ٩) قوة الأمواج حسب شكل السواحل

وتسبب الأمواج عند السواحل تيارات مائية بعضها يتجه بموازاة الساحل، ويعرف باسم التيارات الطولية Longshore Currents والبعض الآخر يتجه نحو البحر، ويعرف بالتيارات العرضية Rip Currents. ولهذه التيارات أهمية كبيرة في نقل الرواسب وحركتها بالجهات الساحلية. ويرجع حدوث هذه التيارات إلى انكسار الأمواج على النحو السابق ذكره، فنتيجة لاختلاف تضاريس القاع، وتعرج السواحل، تتوالى المناطق التي توجد بها أمواج عالية، مع أخرى أمواجها منخفضة، ويترتب على ذلك اختلاف درجة حركة انتقال الكتل المائية، التي تعظم حيث الأمواج عالية، وتتضاءل حيث الأمواج هادئة، فتتجه المياه على طول الساحل من الجهات الأولى إلى الثانية، وينشأ عن ذلك النوع الأول من التيارات. أو بمعنى آخر يمكن القول بأن هناك تيارات شاطئية تتجه من الأجزاء البارزة بالساحل، أي الرؤوس، إلى الأجزاء الغائرة أي الخلجان، وهذا

بدوره يفسر النحت الذي تتعرض له الرؤوس، إذ تعمل التيارات على نقل الرواسب عندها لتضعها أمام الخلجان. وينشأ في الجهات التي تتقابل عندها التيارات الطولية من اتجاهين تيار واحد عند نقط الالتقاء، ويتجه هذا التيار صوب البحر في مسار عمودي على الساحل. وتختلف قوة هذا النوع من التيارات تبعاً لارتفاع الأمواج، فعقب كل فترة من الأمواج العالية تنشط هذه التيارات بعد أن تكون الأمواج قد عملت على تراكم كمية كبيرة من المياه نحو الشاطىء، كما أن هذا النوع من التيارات أكثر ظهوراً على الشواطىء الرملية منه على الشواطىء الصخرية، أما الأمواج الهادئة فتنجم عنها تيارات صغيرة ولكن بأعداد أكبر، وفي كثير من الجهات يمكن التعرف على آثار القنوات التي تحفرها هذه التيارات في رمال الشاطىء.

وهناك نوعان من الأمواج أحدهما ينشأ في البحار والمحيطات بعيداً عن الشاطىء، وسببه هو هبوب الرياح من اتجاه واحد مما يؤدي إلى اهتزاز المياه في حركة رأسية، ويطلق على هذا النوع اسم «الموجات الاهتزازية» Waves of Oscillation، أما النوع الثاني فيكون بالقرب من الشاطىء ويطلق عليه اسم «موجات الارتطام Waves of Translation» وهي في الأصل موجات اهتزازية ولكنها تتكسر عندما تدخل المياه الشاطئية، أو المنطقة الضحلة، وترتطم بالشاطىء. ويتوقف حجم الموجات الاهتزازية وسرعة ترددها على سرعة الرياح من جهة واتساع المسطحات المائية التي تتكون فيها من جهة أخرى، فبينما قد يصل طول الموجة في المحيط إلى ١٦٠ متراً ويصل ارتفاعها إلى ٨ أمتار فإن طولها في البحار المقفلة أو شبه المقفلة مثل البحر المتوسط لا يزيد عن خمسين متراً ولا يزيد ارتفاعها عن ستة أمتار.

ويمكن أن ندخل في الأمواج كذلك موجات «التسونامي Tsunamis» التي تنشأ بسبب حدوث الزلازل تحت قاع البحر أو بالقرب منه، وهي موجات عاتية يزيد ارتفاعها على عشرين أو ثلاثين متراً عند الساحل، كما يصل ارتفاعها في عرض المحيط ٢ ـ ٣ متراً، وتبلغ سرعتها ٤٠٠ ـ ٨٠٠ كيلومتر في الساعة. وقد

حدث في المائة سنة الأخيرة حوالى ٣٧٥ تسونامي، ذات قوة هائلة سببت دماراً شاملاً للمناطق الساحلية للمحيطات التي مرت بها الموجة وخاصة السواحل الغربية لأمريكا الشمالية والجنوبية وسواحل آسيا الشرقية، حيث تتعرض هذه المناطق للزلازل بسبب تكوينها التكتوني. فمثلاً في ٢٤ يناير عام ١٩٣٩ قتلت أمواج التسونامي حوالى ألف شخص وأصبح ٧٠ ألف بدون مأوى في منطقة كونيسبسيون Concepcion في تشيلي، وفي عام ١٩٤٨ هدم تسونامي آخر حوالى ٣٦ ألف بيت في سواحل اليابان، وفي عام ١٧٩٢ قتل تسونامي ١٥ ألف شخص في اليابان.

أما التغير في الضغط الجوي فوق سطح البحار والمحيطات فيسبب حدوث ميل واضح في مستوى سطح الكتل المائية فتتكون موجات مائية تعرف أحياناً باسم سش Seiche وهذه الموجات أكثر وضوحاً في الخلجان الضيقة، حيث يتذبذب مستوى السطح.

وللأمواج عموماً أهمية جغرافية واضحة بسبب تدخلها القوي في تشكيل السواحل ونحت صخورها وتوزيع المواد الرسوبية المختلفة على طولها، أو حملها إلى داخل البحر. وهي العامل الرئيسي في نشأة كثير من المظاهر الجيومور فولوجية الساحلية مثل الكهوف الشاطئية والمسلات البحرية والأقواس البحرية وغيرها ـ كما أشرنا من قبل في الفصل السادس من هذا الكتاب.

(٢) المد والجزر Tides

المد والجزر عبارة عن حركة ارتفاع وحركة انخفاض ماء البحار والمحيطات. وتحدث هذه الظاهرة أمام سواحل البحار والمحيطات بتتابع يومي منتظم يتكرر فيه كل منهما مرتين وتكون الفترات التي تفصل بين المد والجزر الذي يليه، أو بين المدين والجزرين اللذين يحدثان خلال اليوم الواحد واحدة تقريباً من يوم لآخر، كما أن أوقات حدوثها تتأخر يومياً بمعدل ٥٢ دقيقة تقريباً خلال الشهري العربي، وهي نفس المدة التي يتأخر بها ظهور القمر منذ مولده

في أول الشهر حتى اختفائه في آخره. ويسبب هذه الظاهرة تأثير جاذبية كل من القمر والشمس للأرض بالإضافة إلى دوران القمر حول الأرض وقوة الطرد المركزية لدوران الأرض حول نفسها، كما يقوم الموقع الجغرافي بدور كبير في ازدياد قوة موجات المد، فارتفاع هذه الموجات في وسط المحيطات وعلى شواطىء البحار المغلقة والبحيرات لا يتجاوز متراً واحداً، ويتم بصورة تدريجية تجعل من الصعب ملاحظته، وأحياناً تخفي الرياح والتقلبات الجوية آثاره، ولكن في بقاع أخرى نجد أن موجات المد قوية وخاصة في الخلجان الضيقة والمتقطعة والمفتوحة التي تدخل إليها هذه الموجات بسهولة وبدون عائق. ففي خليج فندي Fundy في شرق كندا، يصل ارتفاع موجات المد إلى ١٩,٦ متراً وفي خليج فروبيشير Frobisher في السواحل الشرقية لجزيرة بافين Baffin Island (شمال شرق كندا) إلى ١٥,٦ متراً وفي خليج شيلخوف Shelekhov في بحر آخوتسك Okhotsk (شرق روسيا) إلى ١٣ متراً وفي ساحل جران فيل Grand Ville في شمال فرنسا إلى ١٦,١ متراً. وقد يدخل المد في بعض مصبات الأنهار المتسعة كمصب نهر الأمزون الذي يصل تأثير المد إلى داخله لمسافة ١٤٠٠ كم وفي نهر سانت لورانس St. Lawrence في شرق كندا إلى مسافة ٧٠٠ كم. ومصب نهر سيفيرن Severn بإنجلترا وفيه يبلغ المد ١٧ متراً، ويرجع سبب ذلك إلى تقابل المياه المتقدمة من البحر مع المياه القادمة من النهر.

وتعد جاذبية القمر للأرض هي المسؤولة عن حدوث هذه الظاهرة. وقد اكتشف ذلك منذ زمن بعيد، فقد استطاع العلماء القدماء أن يلاحظوا العلاقة القوية بين حدوث المد والجزر وبين تغير أوجه القمر، حيث يحدث المد الكبير عندما يكون القمر بدراً أو محاقاً، ويحدث المد الصغير عندما يكون القمر في التربيع الأول والثاني. إلا أنه لم يتقدم أحد بأي تفسير علمي للمد والجزر حتى اكتشاف قانون الجاذبية، فقد أوضح إسحق نيوتن في عام ١٦٧٨ أنه يمكن تفسير حدوث المد والجزر بوجود قوة جاذبية القمر وقوة جاذبية الشمس. وقد أثبتت

الدراسات الحديثة أن هناك عوامل أخرى مساعدة تتحكم في توقيت حدوثها وفي تحديد مدى ارتفاع المد وهبوط الجزر على طول أيام الشهر العربي. وتتناسب قوة الجاذبية بين القمر والشمس والأرض تتناسب طردياً مع حاصل ضرب كليهما وعكسياً مع مربع السمافة بينهما، فعل الرغم من الشمس تفوق القمر كثيراً من حيث الكتلة بنحو ٢٣٠ مليون مرة إلا أنها أبعد منه كثيراً عن الأرض بنحو ٣٩٠ مرة، ولذلك نجد أن المد الذي يحدث نتيجة لقوة جاذبيتها أقل من المد الذي يحدث بسبب قوة جاذبية القمر.

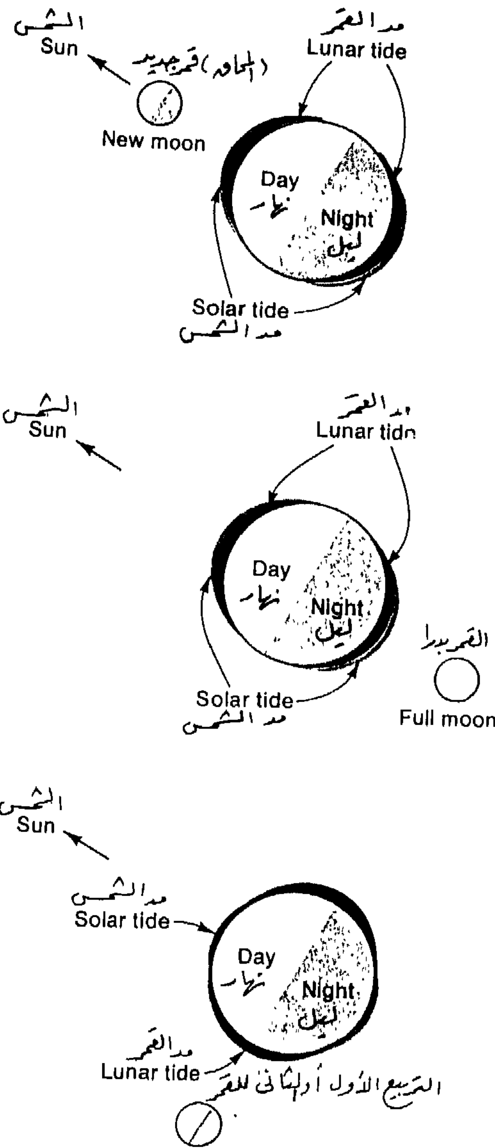
ويجذب القمر كل جسيم من جسيمات الماء على الأرض، ولما كانت الأرض كروية الشكل، فإن بعد القمر عن الأرض يختلف من منطقة إلى أخرى على سطحها، ومن ثم فلا بد أن يتغير جذبه للأرض بنفس الحالة. كما وأن القمر هو الآخر يغير موضعه بالنسبة لخط الاستواء الأرضي أثناء تجواله في مساره، فهو أحياناً يكون فوق الماء في نصف الأرض الشمالي وتارة أخرى فوق الماء في النصف الجنوبي. ومن جهة أخرى نجد أن بعد القمر عن الأرض يتغير بين فترة وأخرى، وذلك لأن القمر يدور حول الأرض في مدار بيضاوي، فعندما يكون القمر في نقطة الحضيض فالمد الذي يحدثه أقوى من المد عند نقطة الذنب بمقدار ٤٠٪. ويعد دوران القمر حول الأرض العامل المسؤول عن تأخر ميعاد حدوث المد والجزر بنحو ٥٢ دقيقة كل يوم عن اليوم السابق له، فلو تصورنا أن البحار تحيط بكوكب الأرض إحاطة تامة، وأن القمر ثابت في موضع واحد فإن ذلك سيؤدي إلى حدوث موجتين متساويتين من المد العالي على المكان الواحد بينهما ١٢ ساعة وهي المدة اللازمة لانتقال أي نقطة من الجانب المواجه للقمر إلى الجانب المقابل له، ولكن بما أن القمر يدور حول الأرض مرة كل ٢٩ يوماً فإن مروره على النقطة الواحدة يتأخر ٥٢ دقيقة يومياً.

وتسهم الشمس في إحداث المد بالإضافة إلى القمر كما ذكرنا سابقاً، فإذا اتفق إن كانت قوة جاذبية الشمس للأرض في نفس اتجاه قوة جاذبية القمر للأرض، فإن ارتفاع المد يزداد، وينخفض الجزر إلى أدنى حد ممكن، لأن

القوتين تقويان بعضهما، وتحصل فترات التقوية أو المد الأعلى أو المد القفاز Spring Tide عندما يكون القمر بدراً أو في المحاق (شكل رقم: ٧ ـ ٩)، أما عندما يكون القمر في التربيع الأول أو الثاني فإن القوتين تتعامدان، وتقلل قوة جذب الشمس للأرض، من قوة جذب القمر للأرض أي يضعفان بعضهما ويسمى المد عندئذ بالمدى الأدنى Neep Tide.

ولتوزيع اليابس والماء وتحرك المياه أثر في اختلاف مدى المد والجزر من مكان لآخر على سطح الأرض، فلو كانت البحار تحيط بالأرض إحاطة لكان من الممكن تحديد ارتفاع المد ومدته في أي منطقة على سطحها بسهولة على أساس قوة جذب القمر وقوة الطرد المركزي للأرض، ولكن نظراً لأن البحار تختلط باليابس ولأن مياهها دائمة الحركة فإن ارتفاع المد يختلف من بحر إلى آخر ويحتاج حسابه إلى بعض العمليات المعقدة نوعاً ما. ففي بعض الأماكن يصل ارتفاع المد إلى حوالى ١٩ متراً بينما يقل عن ذلك كثيراً أو يختفي في بعضها الآخر. ويعد البحر المتوسط من أقل البحار تأثراً بالمد حيث لا يكاد يرتفع المد فيه عن ٠,٤ من المتر في المتوسط وقد كان ذلك من أهم العوامل التي ساعدت كثيراً من الأنهار التي تصب في هذا البحر مثل نهر النيل ونهر الـرون ونهر البو على تكوين دالات لها. وعلى الرغم من ضعف حركة المد والجزر في البحر المتوسط فإنها تكون قوية نسبياً في مواضع قليلة مثل خليج قابس حيث يصل الفرق بين مستوى المد ومستوى الجزر إلى مترين، وعند جبل طارق حيث يصل إلى ١,٢ متر، وفيما عدا ذلك يندر أن يزيد هذا الفرق على نصف متر، ففي جنوة مثلاً يبلغ ٠,٣ متر فقط وأمام جزيرة كورفو ٧ سنتيمترات فقط.

ويعد المد والجزر من العوامل التي لها علاقة بتوزيع الرواسب والكائنات الحية الدقيقة على طول السواحل التي تتأثر بها كما أن لها علاقة كبيرة بنظام حياة الأسماك وحركاتها، ومن الواضح أنها تؤثر كذلك على نظام الحركة في



(شكل رقم: ٧ ـ ٩) المد والجزر وعلاقتهما بجاذبية كل من القمر والشمس للأرض

الموانىء التي تتعرض لها، ولذلك فإن تخطيط هذه الموانىء وتوزيع منشآتها تراعى فيه دائماً الآثار الناجمة عن حركتى المد والجزر.

(٣) التيارات البحرية:

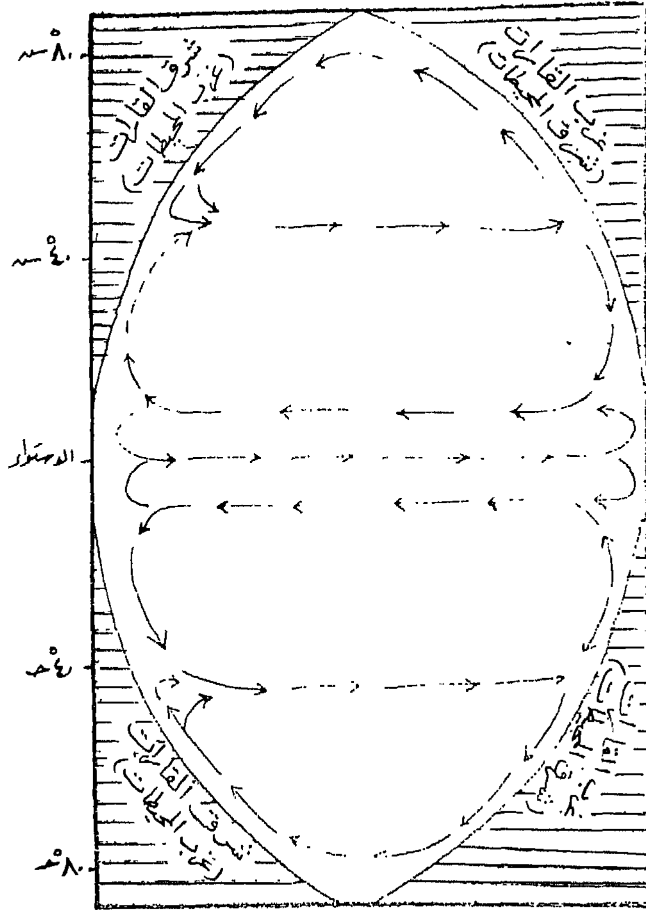
يقصد بالتيارات البحرية حركة الكتل المائية في مناطق معينة من البحار والمحيطات أفقياً ورأسياً وفي اتجاهات معينة ثابتة تقريباً. وبعبارة أخرى يمكن القول بأنها عبارة عن مسيرات منتظمة للمياه السطحية في المحيطات وبعض البحار الكبيرة، وبمقتضاها تتحرك كتل أو قطاعات من هذه المياه بطريقة مشابهة لحركة الأنهار البطيئة الواسعة، ولكنها تختلف عنها بأن شواطئها أو مجاريها غير ثابتة، إذ نجد أنها تغير مواقعها لمسافات مئات الكيلومترات، وتختلف سرعتها أفقياً ورأسياً، فمثلاً تصل سرعة بعض التيارات في المحيط الهادي عند عمق ١٠٠٠ متر إلى ١٠ ـ ١٢ متر/ثانية وعند عمق ٣٠٠٠ متر تبلغ ٥ ـ ٨ متر/ثانية. ولهذه التيارات آثار مناخية هامة تختلف باختلاف طبيعتها، فهي إما أن تكون دفيئة تعمل على رفع درجة حرارة السواحل التي تمر بها، وإما أن تكون باردة فتعمل على خفض درجة حرارة السواحل التي تمر بجوارها.

وتنشأ التيارات البحرية نتيجة لعدة عوامل منها: القوة الناتجة عن هبوب الرياح التي تدفع المياه السطحية في اتجاه هبوبها محدثة تيارات سطحية تتفق في اتجاهها العام مع الدورة العامة للرياح، وإلى جانبها توجد عوامل أخرى تساعد على تحريك المياه أو توجيهها بشكل خاص، ومنها اختلاف كثافة المياه من مكان لآخر. فمن المعروف أن كثافة الماء تتوقف على درجة الحرارة والملوحة والضغط الجوي، فالمياه المالحة أعلى كثافة من المياه العذبة، والمياه الباردة أعلى كثافة من المياه الدفيئة، وتبعاً لهذه الفروق تنزل الكتل المائية عالية الكثافة من السطح باتجاه القاع وتصعد الكتل المائية قليلة الكثافة من الأسفل إلى الأعلى مكونة ما يسمى بالتيارات الصاعدة Convection Currents، ومما يجدر الإشارة إليه أن المياه الباردة العذبة قد تكون أقل كثافة بكثير من المياه الدفيئة المالحة. ويؤدي الاختلاف في كثافة المياه أيضاً إلى إحداث تيارات سطحية، وخير مثل يوضح ذلك هو تبادل الكتل المائية بين البحر المتوسط (مياهه مالحة

ذات كثافة عالية) والمحيط الأطلسي (كثافة المياه أقل من البحر المتوسط) عن طريق مضيق جبل طارق، على شكل تيار سطحي (من المحيط إلى البحر) وتياراً آخر عميق (من البحر إلى المحيط)، فالتيار السطحي يجلب إلى البحر المتوسط قرابة مليوني طن من المياه الجديدة في الثانية الواحدة. وإلى جانب ذلك يسبب اختلاف منسوب الماء في بعض البحار المتجاورة تحرك المياه السطحية في شكل تيارات بحرية، نتيجة لزيادة التساقط وكثرة التبخر من سطح الماء وكثرة ما يصب في بعض البحار من مياه الأنهار والثلوج المنصهرة، فمثلاً عندما تسقط كمية من الأمطار في منطقة ما من المحيط، يؤدي ذلك إلى ارتفاع في مستوى المياه، فتندفع المياه نحو جهات أخرى، أما التبخر الشديد المستمر فيؤدي إلى انخفاض في مستوى المحيط فتندفع المياه من جميع الجهات نحو هذه المنطقة، ولذلك نجد أحياناً تحرك الكتل المائية في الميحطات بعكس اتجاه هبوب الرياح السائدة. ويعد شكل الساحل كذلك من العوامل الهامة التي تحدد الاتجاهات التي تسير فيها بعض التيارات البحرية، كما أن حركة الأرض حول نفسها تعمل باستمرار على انحراف التيارات البحرية بطريقة مشابهة لانحراف الرياح حسب فرل، ومعنى ذلك أن التيارات تنحرف قليلاً إلى يمين اتجاهها في نصف الأرض الشمالي وإلى يساره في نصفها الجنوبي، إلا إذا اضطرت إلى أن تأخذ اتجاهات معينة بسبب شكل السواحل.

وكما ذكرنا، قبل قليل، تعد الرياح العامل الرئيسي والمتحكم في نشأة التيارات السطحية، إذ يتفق اتجاه هذه التيارات إلى حد كبير مع الدورة العامة للرياح فوق البحار والمحيطات (شكل رقم: ٨ ـ ٩).

ففي الأقاليم المدارية، حيث تسود الرياح التجارية، تدفع هذه الرياح المياه السطحية من السواحل الغربية للقارات نحو السواحل الشرقية. وعندما تصطدم هذه التيارات بالسواحل الغربية للقارات تنقسم إلى فرعين: الفرع الأول يتجه نحو الأقليم الاستوائي ويشكل التيار الاستوائي الذي يتجه من الغرب نحو الشرق، أما الفرع الثاني (في النصف الشمالي من الأرض) فيتجه نحو الشمال،



(شكل رقم: ٨ ـ ٩) الدورة العامة للتيارات البحرية

ثم يبتعد عن السواحل الشرقية للقارات تدريجياً باتجاه الشرق (وذلك بسبب دوران الأرض حول نفسها) حتى يصل إلى دائرة العرض ٣٠° شمالاً وعندئذ يصبح تحت تأثير الرياح الغربية السائدة، فتدفعه هذه الرياح نحو السواحل الغربية للقارات، عابراً المحيط من الغرب إلى الشرق، وعند دائرة العرض ٥٠° شمالاً ينقسم هذا الفرع إلى قسمين، الأول يتجه نحو الجنوب ويدخل في نطاق أضداد الأعاصير ويدور في حلقة باتجاه عقرب الساعة أما القسم الثاني فيتجه

نحو الشمال، حيث يدخل جزء منه إلى المحيط المتجمد الشمالي والجزء الآخر ينضم إلى التيار الآتي من المحيط المتجمد الشمالي ويدخلان معاً في نطاق الأعاصير المعتدلة، ويدوران في حلقة بعكس اتجاه عقرب الساعة. ومن هذا نستنتج أن التيارات التي تتجه من خط الاستواء باتجاه القطبين تكون دفيئة، لأنها آتية من منطقة دفيئة، وبالعكس فالتيارات المنطلقة من القطبين باتجاه خط الاستواء تكون باردة. ومن جهة أخرى فإن حركة المياه الدفيئة السطحية تفسح المجال للمياه الباردة لكي تتحرك من أسفل إلى أعلى لتحل محل المياه الدفيئة.

ويلاحظ أن الدورة التي سبق وصفها، تتغير نوعاً ما في المحيطات المختلفة على حسب الظروف الخاصة بكل منها من حيث الاتساع وشكل السواحل ونظام هبوب الرياح. كما يلاحظ عموماً أن التيارات الرئيسية في المحيطات المختلفة تتزحزح نوعاً ما نحو الشمال في فصل الصيف الشمالي، ونحو الجنوب في فصل الشتاء الشمالي تبعاً لحركة الشمس الظاهرية، شأنها في ذلك شأن النطاقات العامة لعناصر المناخ كالحرارة والضغط الجوي والرياح.

تيارات المحيط الأطلسي

تعمل الرياح التجارية على تحريك جزء من المياه السطحية للمحيط الأطلسي في المنطقة المدارية على جانبي خط الاستواء. وتتحرك هذه التيارات تبعاً لاتجاه الرياح في اتجاه عام نحو الغرب. ويعرف بالتيار الاستوائي الشمالي شمال خط الاستواء وبالتيار الاستوائي الجنوبي جنوب خط الاستواء ويفصلهما تيار عكسي راجع نحو خط الاستواء نتيجة لانحدار المياه التي تدفعها الرياح التجارية باستمرار نحو أمريكا الجنوبية، ويعرف عند الساحل الإفريقي بتيار غانا.

ويتجه التيار الاستوائي الشمالي نحو الشمال الغربي ماراً بشمال شرقي أمريكا الجنوبية بعد أن ينضم إليه جزء من التيار الاستوائي الجنوبي (شكل رقم: ٩ ـ ٩). بعد ذلك يتحرك التيار نحو جزر الهند الغربية حيث يدخل جزء منه

البحر الكاريبي. ويتزود بالمياه الضخمة التي تنصب في خليج المكسيك بفعل نهر المسسبي على الخصوص. ثم يخرج هذا التيار الذي يعرف بتيار فلوريدا (دافىء) من خليج المكسيك ويلتقي بشعبته الأخرى التي تتجه شرقي جزر الهند الغربية ويسيران مكونان تياراً واحداً ضخماً يعرف شمال خط عرض ٣٥° شمالاً بتيار الخليج Gulf stream (دافىء) متجهاً متجهاً نحو الشمالي الشرفي تحت تأثير الرياح العكسية الغربية ويعرف بتيار الأطلسي الشمالي حتى إذا ما اقترب من أوروبا تفرع إلى ثلاث شعب: شعبة تتجه نحو الجنوب بحذاء ساحل شمال غربي إفريقية وتعرف بتيار كناريا (بارد) الذي يقع تحت تأثير الرياح التجارية الشمالية الشرقية ويتصل بالتيار الاستوائي الشمالي مكملاً دورة في العروض الدنيا من المحيط الأطلسي الشمالي.

وأما في العروض العليا من ذلك الميحط فإن الشعبتين الأخريتين من التيار الأطلسي الشمالي (دافىء) تصل إحداهما إلى شمال غربي أوروبا والثانية تجاه ايسلند. وهما ينضمان في النهاية إلى التيارات القطبية الباردة التي تتجه جنوباً تقريباً وتعرف بتيار شرقي جرينلند (بارد) وتيار لبرادور (بارد) وهذا الأخير يمر بشمالي شرقي أميركا الشمالية ويلتقي في النهاية بتيار الخليج الدافىء قرب جزيرة نيوفوندلاند.

أما جنوب خط الاستواء فإن التيار الاستوائي الجنوبي يتجه معظمه نحو الجنوب الغربي ماراً بالسواحل الشرقية الجنوبية لأمريكا الجنوبية حيث يعرف بتيار البرازيل (الدفىء). وعند خط عرض ٤٠° جنوباً تقريباً يقع تحت تأثير الرياح العكسية الغربية متجهاً نحو الشرق وينضم إليه تيار فولكلاند (البارد) الذي يمر بجوار الطرف الجنوبي من الساحل الشرقي للقارة كما ينضم معه أيضاً بعض التيار القطبي الجنوبي. ويتجه منها جميعاً جزء نحو الشمالي بعد أن يعبر المحيط الأطلسي بحذاء الساحل الغربي لقارة إفريقيا ويعرف بتيار بنجويلا (البارد) الذي ينضم متأثراً بالساحل الإفريقي والرياح التجارية الجنوبية الشرقية، إلى التيار الاستوائي الجنوبي مكملاً دورته.

(شكل رقم: ٩ ـ ٩) التيارات البحرية في المحيط الأطلسي

تيارات المحيط الهادي

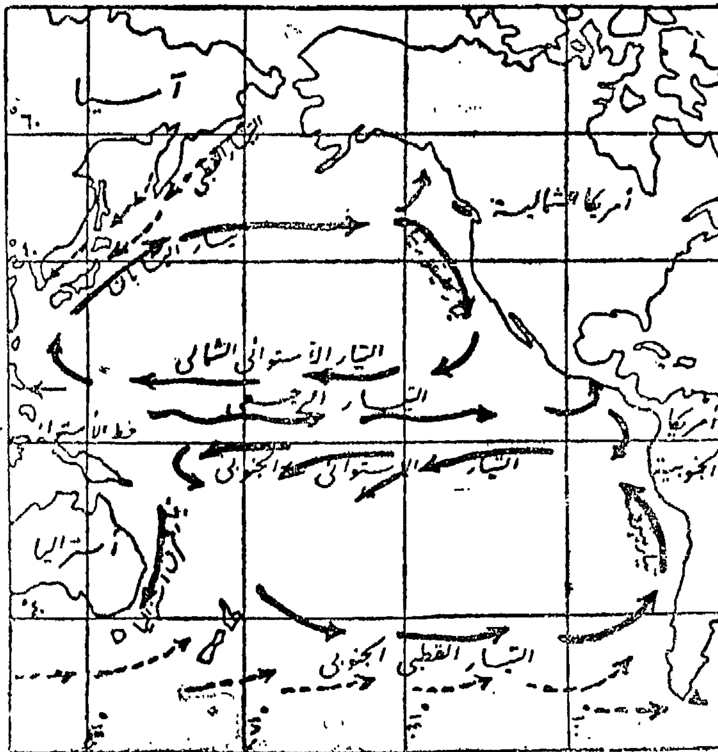
لا تختلف تيارات المحيط الهادي في نظامها العام اختلافاً كبيراً عن تيارات المحيط الأطلسي، باستثناء بعض الاختلافات البسيطة التي يرجع

معظمها إلى عدم تشابه شكل السواحل في المحيطين (شكل رقم: ١٠ ـ ٩)، ففي شمال وجنوب خط الاستواء يوجد أيضاً كل من التيار الاستوائي الشمالي الغربي ماراً بشرقي جزر الفلبين ثم يتجه نحو الشمال فالشمال الشرقي ماراً بشرقي الصين واليابان ويعرف بتيار اليابان الدفىء الذي يستمر في الاتجاه بتأثير الرياح العكسية نحو الشمال الشرقي تجاه شمال غرب أمريكا الشمالية ويعرف بتيار المحيط الهادي الشمالي (الدفىء)، وهناك يتفرع إلى فرعين: أحدهما يتجه نحو الجنوب ماراً بالساحل الغربي للولايات المتحدة على هيئة تيار كاليفورنيا (البارد) الذي ينضم إلى التيار الاستوائي الشمالي مكوناً دورة في العروض الدنيا من المحيط الهادي الشمالي. وأما الفرع الآخر فيدور مع ساحل كندا وألاسكا ويعرف بتيار ألاسكا (الدفىء) وهناك تيار بارد شرقي شبه جزيرة كمتشكا يتجه نحو الجنوب وهو ينضم مع تيار اليابان قرب جزر اليابان. ويلاحظ أن هناك شعبة من تيار اليابان الدافىء تدخل بحر اليابان أيضاً ويمر غرب السواحل الغربية لليابان، ومن ثم يبدو كيف أن الجزر اليابان تطوقها من الشرق والغرب تيارات دفيئة.

وأما جنوب خط الاستواء فكما هي الحال في المحيط الأطلسي الجنوبي يتجه التيار الاستوائي الجنوبي نحو الغرب ثم ينحني متجهاً نحو الجنوب حيث يعرف بتيار شرقي استراليا (الدفىء) وعندما يدخل منطقة هبوب الرياح العكسية الغربية يتجه نحو الشرق منضماً إلى التيار القطبي الجنوبي الذي يتجه نحو الشرق. وقرب الطرف الجنوبي الغربي من أمريكا الجنوبية تتجه منه شعبة نحو الشمال بمحاذاة الساحل الغربي للقارة وتعرف بتيار بيرو أو همبولت (البارد) الذي ينضم في النهاية إلى التيار الاستوائي الجنوبي مكملاً دورته.

من ذلك نرى أن هناك تشابهاً في نظام تيارات المحيطين الأطلسي والهادي فمثلاً تيار الخليج الدافىء في شرق أمريكا الشمالية يماثله تيار اليابان الدافىء في شرقي آسيا وإن كان الأول أقوى كثيراً وأسرع وأدفأ نسبياً من الثاني. وتيار لبرادور البارد في شمال شرقي أمريكا الشمالية يماثله تقريباً تيار كمتشكا

البارد في شمال شرقي آسيا. وتيار كناريا البارد يماثله تيار كاليفورنيا البارد تقريباً. كذلك نجد في نصف الأرض الجنوبي أن تيار بنجويلا البارد من غربي إفريقية يماثله تيار همبولت البارد في غربي أمريكا الجنوبية، بينما تيار البرازيل الدافىء في شرقي أمريكا الجنوبية يماثله تيار شرقي استراليا الدافىء. والاختلاف في التيارات البحرية ينحصر تقريباً في اتساع التيار وسرعته وطبيعته فإلى جانب الاختلاف الذي ذكرناه بين كل من تيار الخليج وتيار اليابان نجد أيضاً أن التيارات القطبية أقوى في حالة المحيط الأطلسي عن الهادي نظراً لأن الأول محيط مفتوح نحو الشمال وأكثر اتصالاً بالمحيط المتجمد الشمالي منه في حالة المحيط الهادي. كما يلاحظ أيضاً أن التيار القطبي الجنوبي الذي يتجه من



(شكل رقم: ١٠ ـ ٩) التيارات البحرية في المحيط الهادي

الغرب إلى الشرق حول الأرض كلها ما بين خطي عرض ٤٠° و ٥٠° جنوباً تقريباً ليس له ما يناظره في نصف الأرض الشمالي. وأهم سبب لذلك طبعاً هو اختلاف شكل وامتداد اليابس تجاه القطب في كل من نصفي الأرض.

تيارات المحيط الهندي

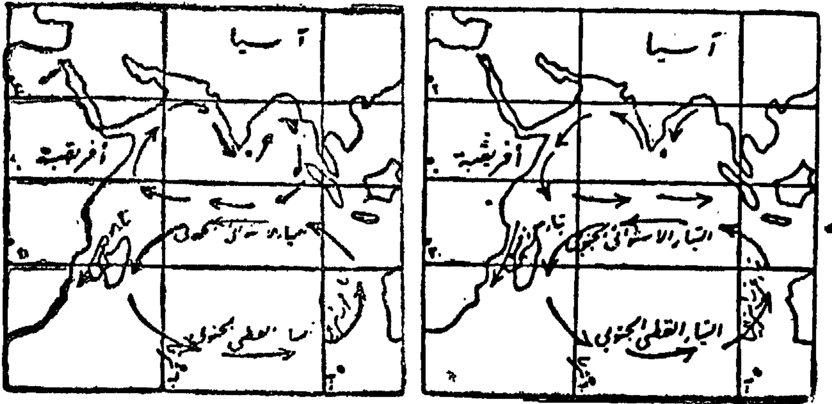
تشبه دورة التيارات في المحيط الهندي مثيلاتها في المحيطين الأطلسي والهادي جنوب خط الاستواء فقط، أما شمال خط الاستواء فإن المحيط الهندي تبعاً لوجود اليابس الأسيوي وهبوب الرياح الموسمية التي تغير اتجاهها تماماً في الصيف عنها في الشتاء فإن وضع هذا المحيط بجوار اليابس يغير نظام التيارات.

ففي الجزء الجنوبي من المحيط الهندي يوجد التيار الاستوائي الجنوبي متجهاً نحو الغرب ثم يتجه نحو الجنوب الغربي ماراً بسواحل شرق إفريقية حيث يعرف بتيار أجولهاس Agulhas أو تيار موزمبيق (الدفىء) ثم يتجه هذا التيار نحو الشرق عندما يدخل منطقة تأثير الرياح العكسية الشمالية الغربية وينضم للتيار القطبي الجنوبي. وقرب جنوب غرب أستراليا تتجه شعبة منه إلى الشمال مارة بغربي القارة وتعرف بتيار غربي أستراليا (البارد) الذي ينضم إلى التيار الاستوائي الجنوبي (شكل رقم: ١١ ـ ٩).

أما شمال خط الاستواء فإن الحال يختلف حيث ينعكس اتجاه التيارات تماماً في الصيف عنه في الشتاء نتيجة لتغير اتجاه هبوب الرياح الموسمية ففي فصل الشتاء تهب هذه الرياح من آسيا وتكون بصفة عامة شمالية شرقية فتكون اتجاه التيارات المارة بالسواحل الجنوبية للقارة من الشرق إلى الغرب بصفة عامة حتى إذا ما وصلت إلى شرقي إفريقية اتجهت نحو الشرق على هيئة تيار أستوائي عكسي.

أما في فصل الصيف فإن الرياح الموسمية الجنوبية الغربية التي تهب على جنوبي آسيا وعلى الخصوص في أغسطس(آب) وسبتمبر(أيلول) فإن التيار

يتحرك من الغرب إلى الشرق وعند جزر الهند الشرقية يتجه نحو الجنوب وينضم إلى التيار الاستوائي الجنوبي.



أ ـ في فصل الشتاء

ب ـ في فصل الصيف

(شكل رقم: (١١ ـ ٩) التيارات البحرية في المحيط الهندي

المياه القارية

تدخل المياه القارية أو المسطحات المائية على اليابس (التي تتمثل في مياه البحيرات والأنهار، وكذلك المياه الباطنية، ضمن حيز الغلاف المائي لكوكب الأرض. ومصدر مياه البحيرات والأنهار هو الأمطار أو المحيطات وذلك بعد أن تمر المياه في مراحل الدورة الهيدرولوجية. وتتخذ المسطحات المائية على يابس سطح الأرض الأشكال الآتية:

البحيـرات

وهي عبارة عن مسطحات مائية محدودة الأبعاد على يابس الأرض. وعلى الرغم من أنها أقل أهمية من المسطحات المائية الهائلة للبحار والمحيطات، إلا

أن بعض البحيرات أو مجموعات منها لها من الأهمية المحلية بالنسبة للإنسان ما يفوق الاختلاف بينها وبين البحار والمحيطات من حيث الاتساع والعمق. فبعض البحيرات تستخدم كمصدر لمياه الشرب، ومورد للماء اللازم في الصناعة، وبعضها يمثل مصائد هامة للأسماك، أو طرق سهلة للنقل، فضلاً عن أهميتها كأماكن للرياضة والترويج.

وتتوزع البحيرات على سطح يابس الأرض عشوائياً، إذ توجد مساحات واسعة من القارات تكاد تخلو من البحيرات، باستثناء بعض أنواع منها غير دائمة أو بعض أنواع اصطناعية بسبب إنشاء السدود على مجاري الأنهار. فالبحيرات الطبيعية في كل من قارتي أمريكا الجنوبية وأستراليا قليلة، كما يستحيل تكوينها وبقائها بالجهات الجافة القليلة الأمطار، والعكس صحيح بالنسبة للجهات الرطبة خاصة تلك التي تتصف بعدم انتظام سطح الأرض. وأكثر جهات سطح الأرض تميزاً بوجود البحيرات هي تلك التي تعرضت لزحف الجليد والأنهار الجليدية (الثلاجات)، مثل هذه البحيرات توجد بالآلاف في شمال وغرب قارة أوروبا، وبصفة خاصة في فنلندا ثم بالجزء الشمالي من قارة أمريكا الشمالية وخاصة في كندا، التي قد يزيد مجموع مساحة البحيرات في مناطق واسعة منها عن مجموع مساحة اليابس فيما بين هذه البحيرات. وقد تنشأ البحيرات بسبب هبوط سطح الأرض في مناطق الانكسارات الأخدودية مثل بحيرات شرق إفريقيا الأوسط والتي تتمثل في بحيرات نياسا وتنجانيقا وألبرت وادوارد ورودلف، أو بسبب خروج الطفوح البازلتية من البراكين التي تسد منخفضات حوضية كما هي الحال في بحيرة تانا التي يخرج منها النيل الأزرق في أثيوبيا، أو قد تشغل البحيرات فوهات البراكين الخامدة مثل بحيرة كرتيرليك في شمال كاليفورنيا بأمريكا الشمالية، كما قد توجد البحيرات في كثير من الجهات الرطبة التي يتكون من صخور جيرية، إذ يساعد ذوبان الصخور الجيرية في تلك الجهات على تكوين منخفضات في سطح الأرض لا تلبث أن تشغلها البحيرات كما هي الحال في شمال شبه جزيرة فلوريدا في شرق قارة أمريكا الشمالية.

ويعض البحيرات ماؤها عذب، والبعض الآخر ماؤها ملح، قد تزيد نسبة الملوحة فيها كثيراً عن ملوحة ماء البحر. فجميع البحيرات التي تخرج منها أنهار تصرفها هي بحيرات عذبة، مثل بحيرات النيل بالهضبة الإفريقية، والبحيرات العظمى في أمريكا الشمالية، وبحيرة بيكال في جنوب سيبيريا والبحيرات السويسرية في قلب أوروبا، أما البحيرات التي تنتهي إليها المجاري النهرية ولا تخرج منها فهي بصفة عامة مالحة المياه مثل بحيرة تشاد في إفريقيا وبحيرة جريت سولت بولاية يوتا الأمريكية وبحيرة فإن بشرق هضبة الأناضول في غرب آسيا. ويرجع السبب في ملوحة مياه هذه البحيرات إلى أن هذه البحيرات لا تنصرف المياه خارجة منها، فتبقى حيث تفقد بالتدريج بواسطة التبخر، مما يؤدي إلى ضياع الماء العذب، واستقرار الأملاح التي تظل تتركز بها عاماً بعد عام.

الأنهـار

هي عبارة عن أشرطة ضيقة من الغلاف المائي فوق يابس الأرض، تتراوح في أحجامها بين غدران وجداول صغيرة نشق المناطق الجبلية الوعرة، وبين أنهار عارمة تنحدر فوق سهول فيضنية واسعة. وإذا كان للنهر حوضاً واسعاً في منطقة رطبة وفيرة الأمطار فإنه يكون لنفسه مجرى دائماً يفيض الماء الذي يجري فيه على مدار السنة، والعكس إذا كان حوض النهر محدود المساحة وكمية الأمطار الساقطة عليه قليلة فإن جريان المياه به يكون موسمياً متقطعاً.

ولكل قارة من قارات العالم أنهارها الكبرى الدائمة، وجميعها تنبع من مناطق جبلية رطبة، أو من قمم جبلية شاهقة تغطيها الثلوج، وبعد ذلك تخترق مجاريها مناطق وفيرة الأمطار في معظمها. ويستثنى من ذلك بعض الأنهار الكبرى مثل نهل النيل ودجلة والفرات ونهر كلورادو. فهذه الأنهار تخترق مناطق صحراوية شديدة الجفاف في الجزء الأكبر من مجاريها الدنيا، حيث تفقد كميات هائلة من مياهها بالتبخر والتسرب أثناء رحلتها في الصحارى الحارة.

وتعد هذه الأنهار من أكثر أنهار العالم أهمية من الناحية البشرية، لأن أوديتها أصبحت مراكز تجمع للسكان بمناطق جرداء، ومن ثم كانت ضفافها بمثابة مهاد للحضارات كما هي الحال في أودية أنهار النيل ودجلة والفرات. والجدول التالي يوضح الأنهار الكبيرة في العالم وأهم خصائصها الشكلية ومعدلات تصريفها وكمية المياه السنوية التي تحملها.

الأنهار الكبيرة في العالم

اسم النهر	الطول (كم)	مساحة حوض النهر (ألف كم٢)	معدل تصريف السنوي (م٣/ الثانية)	معدل كمية المياه السنوية الذي يحمله النهر (كم٣)
الأمزون	٦٤٠٠	٧١٨٠	١٢٠٠٠٠	٣٨٠٠
الكونغو	٤٣٢٠	٣٦٩٠	٣٩٠٠٠	١٢٣٠
الجانج	٢٧٠٠	٢١٦٠	٣٨٠٠٠	١٢٠٠
اليانتسي	٥٥٣٠	١٧٢٥	٢٢٠٠٠	٦٩٤
المسيسبي	٦٤٢٠	٣٢٣٨	١٩٠٠٠	٦٠٠
اليانسي	٤١٣٠	٢٨٠٠	١٨١٠٠	٦٠٠
الفولجا	٣٧٠٠	١٣٨٠	٨١٥٠	٢٥٦
الزامبيزي	٢٦٦٠	١٣٣٠	١٦٠٠٠	—
البارنا	٤٣٨٠	٤٢٥٠	١٤٨٨٠	٤٦٩
النيل	٦٦٧١	٢٨٧٠	٢٦٠٠	٨٢

أما المجاري النهرية التي لا تجري إلا في أوقات معينة فتشتهر بها الجهات الجافة، حيث أنها إذا جرت بها المياه في هذه الجهات فتكون على شكل سيول وفيضانات مفاجئة. ويطلق على مثل هذه المجاري المائية أسماء محلية مختلفة في جهات العالم الجافة، فهي تعرف بالأودية الجافة في العالم العربي، والأرويو Arroyoo في الجهات الجافة من العالم الجديد. ويلاحظ أن أهمية الكثير من هذه المجاري المائية لا ترجع إلى ما يجري بها من ماء على سطح الأرض، بل فيما يتسرب من مياهها تحت السطح بمناطق الدالات (المراوح) المروحية التي تبنيها عند مخارجها من النطاقات الجبلية. ويستطيع الإنسان أن يحصل على هذه المياه المتسربة عن طريق حفر الآبار بتلك الدالات (المراوح)لاستخدامها في الزراعة أو للشرب.

المياه الباطنية

وهي المياه التي تقع تحت سطح الأرض أو في الطبقات العليا من القشرة الأرضية. وتسربت هذه المياه إلى داخل الأرض خلال مسامات التربة والصخور والشقوق الصخرية أو من المجاري النهرية والبحيرات. وتتجمع المياه الباطنية في طبقة صخرية مسامية، يطلق عليها اسم Aquifer أي الطبقة الحاملة للمياه، وهي عادة مشبعة بالمياه ولذا تعرف أيضاً باسم منطقة التشبع Saturated Zone، ويطلق على الحد الأعلى لهذه الطبقة مستوى الماء الباطني Ground Water Table. وتقع الطبقة الحاملة للمياه غالباً بين طبقتين من الصخور القليلة المسامات أو النفاذية Impermeable.

ومصدر المياه الباطنية أساساً هو التساقط، فعندما تسقط الأمطار أو تذوب الثلوج، فإن مياهها تتسرب إلى باطن الأرض، ومقدار نفاذ الماء إلى داخل الأرض، يعتمد على الظروف المناخية، ونوعية السطح والتضاريس. ففي معظم الأراضي التي يكون سطحها منحدراً أو تربتها غير منفذة للماء، تفقد معظم مياه التساقط عن طريق الجريان السطحي أو التبخر وبالإضافة إلى ذلك فإن لذرات

كثير من العناصر التي تدخل في تركيب الصخور قابلية عظيمة لامتصاص الرطوبة من الجو مباشرة، ومن جهة أخرى فإن المياه تدخل في التركيب الداخلي لكثير من الصخور، فمثلاً تشكل المياه ٢٠٪ من الجبس، ولا يمكن فصل المياه من التركيب الصخري إلا بالحرارة الشديدة التي قد تصل إلى ٤٠٠ درجة مئوية.

ويعتمد التذبذب في مستوى الماء الباطني على نظام التساقط، فيرتفع في الفصل المطير أو في فصل ذوبان الثلوج وينخفض في الفصل الجاف ويعرف الحد الأدنى لانخفاض مستوى المياه الباطنية باسم مستوى الماء الباطني الدائم. ولا يشترط أن يكون مستوى الماء الباطني أفقياً وإنما غالباً ما يتبع الانحدار العام لطبوغرافية المنطقة، ولذا نجد في معظم المناطق أن هذا المستوى ينحدر نحو مجاري الأنهار أو الوديان الأخرى أو المناطق المنخفضة، حيث تشكل المياه الباطنية مجاري داخلية، وإما تصب في الأنهار والبحيرات أو تخرج إلى سطح الأرض على شكل الينابيع. أما في المناطق التي يكون مستوى المجاري المائية السطحية أعلى من مستوى المياه الباطنية، فاتجاه المجاري الداخلية يكون بعكس الحالة الأولى ويؤدي ذلك إلى ارتفاع مستوى المياه الباطنية.

وللمياه الباطنية استخدامات متعددة، فبعض العيون المعدنية كالعيون الكبريتية في حلوان بمصر، لها قيمة في الاستشفاء من بعض الأمراض، ولبعض الأحواض الارتوازية كحوض لندن والحوض الارتوازي العظيم باستراليا، أهمية في الحصول على ماء الشرب سواء في مدينة لندن، أو في استراليا، وجميع الواحات في الصحاري، كواحات الصحراء الغربية في مصر، تستمد حياتها الزراعية، ويقوم اقتصادها على ما تحت أراضيها من مخازن للماء الباطني.

الماء المتجمد (الجليد) بالغلاف المائي

يتصف الماء المتجمد أو الجليد بالبحار والمحيطات بأنه على نوعين: النوع الأول ينشأ بسبب تجمد مياه البحر، ويعرف باسم أغلفة الجليد

Pack-ice، أو جليد البحار Sea-ice، وله مضار حيث يعوق استخدام الموانىء في العروض دون القطبية في فصل التجمد، والنوع الثاني ينشأ على اليابس ويتحرك إلى البحار، ويعرف باسم جبال الجليد ice-berge، أو الكتل الجليدية الطافية، التي تعد من أشد الأخطار على الملاحة، كما تتحرك لمسافات طويلة قد تصل إلى مياه العروض،الدنيا أحياناً. ويغطي الماء المتجمد (الجليد) بنوعيه ما يقرب من ٦٪ من مساحة البحار والمحيطات، أي ما يعادل ٢٢,٦ مليون كيلومتر مربع، ولكن تتفاوت هذه المساحة في نصفي الأرض تبعاً لفصول السنة، وحسب ظروف الحرارة من عام الآخر. ففي النصف الجنوبي ينتشر الجليد في الفترة ما بين يوليو (تموز) وأكتوبر (تشرين الأول). وفي الشتاء الشمالي يشغل الجليد القسم الأوسط من المحيط المتجمد الشمالي. ويقدر أن نحو ١٢٧٠٠ كيلومتر مكعب منه يتحرك من المحيط المتجمد الشمالي إلى المحيط الأطلسي كل سنة بفعل الرياح والتيارات البحرية. وتقوم هذه الكتل الجليدية بدور هام في تكوين الكتل المائية الباردة في شمال المحيط الأطلسي.

ويوجد جليد البحار عادة على طول السواحل ذات الملوحة المنخفضة كما هي الحال على سواحل سيبيريا، وفي مناطق الخلجان المحمية ذات المياه الساكنة، حيث تتجمد المياه السطحية أولاً ثم تتكون غلافات الجليد باستمرار التجمد من تحتها. ويطلق على جليد البحار هنا بجليد السواحل أو جليد الخلجان. ويمتد الجليد على سواحل سيبيريا لمسافة ٤٠٠ كيلومتر تقريباً، كما أنه واسع الانتشار حول جزر أرخبيل شمال كندا. وتتوقف درجة حرارة تجمد مياه البحر على نسبة ملوحتها، فتتجمد المياه في درجة ١,٩ درجة مئوية عندما تكون الملوحة ٣٥ في الألف، وكلما كانت درجة الحرارة أكثر انخفاضاً كلما زادت نسبة الملوحة التي يحدث عندها التجمد، ومن ناحية أخرى كلما زاد سمك الغلافات الجليدية كلما قلت نسبة ملوحة الجليد. وينمو جليد البحار فيصل سمكه ما بين ١,٥ متر وبين ٥ متر خلال الشتاء الواحد، ثم يزداد سمكه ببطء بعد ذلك عاماً بعد آخر، ويستمر في الزيادة لمدة نحو خمس سنوات وبعدها يتلاشى حينما

تحركه الرياح أو تدفعه التيارات البحرية في مساراتها، مما يؤدي إلى تحطمه إلى كتل تنتشر وتتباعد فتذوب بالتدريج. وهذا النوع أصغر حجماً وأسرع حركة من الكتل الجليدية الطافية.

أما الجبال الجليدية فتنقسم إلى نوعين: النوع الأول هو جبال الجليد في نصف الأرض الشمالي التي تنشأ من تحطم الألسنة الجليدية عند مصبات الأودية الجليدية المنحدرة من اليابس، وهي بذلك تتألف من مياه عذبة، والنوع الثاني يوجد في النصف الجنوبي من الأرض، وينشأ من تحطم أطراف القلنسوات الجليدية ice caps حول القارة القطبية الجنوبية (أنتاركتيكا)، وهو بهذا يتألف من مياه مالحة. ولا يتجاوز طول الكتل الجليدية الطافية في النصف الشمالي من الأرض نصف كيلومتر، بينم يبلغ طولها في النصف الجنوبيعشرات الكيلومترات، ويتراوح ارتفاعها فوق سطح الماء من ٣٠ إلى ٤٠ متراً، كما أن عددها يختلف من عام لآخر، فلم يشاهد سوى ١٦ جبلاً عام ١٩٢٤ بينما سجل ١٣٠٠ منها عام ١٩٢٩. وقد كان لكثرة عددها في نهاية القرن الماضي أن هجرت السفن الطريق الملاحى القديم بين أمريكا الجنوبية وإفريقيا وأستراليا إلى طريق آخر أكثر تطرفاً نحو خط الاستواء، إذ أن هذه الكتل المتحركة من القارة القطبية الجنوبية قد تصل إلى دائرة عرض ٣٥ درجة في المحيط الأطلسي و ٤٥ درجة في المحيط الهندي و ٥٠ درجة في المحيط الهادي من نصف الأرض الجنوبي وذلك عن طريق دفع التيارات البحرية لها في اتجاه مساراتها. أما في النصف الشمالي للأرض فقد تصل في تجوالها إلى دائرة عرض ٤٨ درجة وأحياناً إلى دائرة عرض ٣٠ درجة، وجزر الآزور والسواحل البريطانية. ولا يصل عمره هذه الجبال إلى أكثر من عامين من تاريخ تكونها. وتتمثل مصادر الجبال الجليدية في النصف الشمالي للأرض في جرينلند وفرانز جوزيف لند ونوفايا زمليا. وفيما بين دائرتي عرض ٤٣ درجة ٤٧ درجة شمالاً توجد قوة بوليسية دولية تنبه السفن إلى أماكن الجبال الجليدية ومساراتها وذلك كارثة غرق السفينة تيتانيك Titanic عام ١٩١٢.

الباب الثالث

الأشكال التضاريسية الكبرى
على يابس الأرض

مقدمة :

الفصل العاشر : الجبال والتلال .

الفصل الحادي عشر : الهضاب .

الفصل الثاني عشر : السهول .

الباب الثالث

الأشكال التضاريسية الكبرى
على يابس الأرض

مقدمة:

سبق أن عرفنا أن العوامل الباطنية (الداخلية) والعوامل الخارجية (الظاهرية) هي التي تؤثر في نشرة الأرض فتجعلها تتخذ أشكالاً مختلفة في المناطق المختلفة، ونتيجة لهذه العوامل يتفاوت مقدار ارتفاع التضاريس[1] أو انخفاضها، كما أن هذه العوامل مجتمعة ما زالت دائبة على تغيير معالم سطح الأرض وتشكيله، منذ النشأة المبكرة للأرض وحتى الآن.

ولقد ظل تصنيف التضاريس لفترة طويلة، تصنيفاً بسيطاً يقوم على أساس التباين في الارتفاع والانخفاض في السطح. فكان هناك تضاريس موجبة، ويقصد بها المرتفعات وأخرى سالبة ويقصد بها المنخفضات. إلا أن الارتفاع والانخفاض مسألة نسبية. كما أن مثل ذلك التصنيف قد يغفل نواحي كثيرة عند

(١) يقصد بالتضاريس relief التغير في الوضع المستوى لسطح القشرة أي التباين في الارتفاع والانخفاض في السطح. وهناك فارق بين التضاريس وبين أشكال سطح القشرة. وكلاهما من الموضوعات الرئيسية التي يقع على عاتق الجغرافي دراستها، والتي كثيراً ما يحدث خلط بين مضمون كل منهما. فأشكال السطح Landforms تعني المظهر الذي تبدو عليه أجزاء السطح المتمايزة ما بين جبل أو تل أو وادي أو ساحل أو بحيرة أو غير ذلك من المظاهر السطحية العديدة. وهي دراسة تقع في ميدان علم الجيومورفولوجيا. ولكن ترتبط دراسة كل من التضاريس وأشكال السطح ببعضهما ارتباطاً وثيقاً. فبقدر ما يوجد من كثافة في التضرس، أي كثافة في الارتفاع والانخفاض لمنسوب اليابس، بقدر ما تتزايد الأشكال السطحية كثرة وتنوعاً.

دراسة الظاهرات التضاريسية، مثل المرحلة التي تمر بها الظاهرة، أو العوامل التي أدت إلى قيامها وتطورها. ومن ثم اتجهت دراسة التضاريس على أساس أشكالها Landforms. وهي ما يطلق عليها علماء الجغرافية الطبيعية اسم العناصر التضاريسية السطحية Terrain elements ويصنفونها إلى أنماط Terrain types. ولم يوجد بعد أساس متفق عليه بين الجغرافيين لتصنيف تلك العناصر أو الأنماط. فهناك فريق يصنفها على أساس أصول نشأتها Genetic classification، بينما يفضل فريق آخر أن يقوم التصنيف على أساس بنية الأشكال Structural Classification، حتى يتجنب ما يؤدي إليه التقسيم الأصولي من لبس عند تصنيف الأشكال. ومثال ذلك تعتبر هضبة التبت وهضبة بوليفيا جبالاً وليست هضاباً، كما اعتاد الجغرافيون أن يطلقوا عليها، إذ أنها تتكون من طبقات التوائية محدبة في مجموعها. وكذلك الحال بالنسبة للجبال التي تقوضت فإنها لا تزال تعتبر جبالاً بحكم بنائها الإلتوائي. كما أن أغلبية السهول العظمى تحوي تشكيلة من الظاهرات الطبوغرافية المختلفة مثل التلال وحتى الجبال.

ويحتوي هذا الباب على دراسة لأهم الأشكال التضاريسية الكبرى على يابس سطح الأرض من حيث مفهومها وأصل نشأتها وأنواعها وتوزيعها الجغرافي، وذلك في ثلاثة فصول هي: الفصل العاشر، ويهتم بدراسة كل من الجبال والتلال والفصل الحادي عشر، ويختص بدراسة الهضاب، أما الفصل الأخير (الفصل الثاني عشر) فخصص لدراسة السهول.

الفصل العاشر

الجبال والتلال

الجبـال والتـلال

أولاً: الجبـال

يعرف الجبل بأنه جزء من القشرة الأرضية الذي له جوانب منحدرة ومنخفضة، ويرتفع عما حوله من الأرض، بحيث يصبح حاجزاً بارزاً وله قمة منفردة حادة أو مستديرة، ويقطعه من جوانبه وديان عميقة. إلا أنه من الصعب وضع حد للتفرقة بين الجبل والتل وإن كان من المعتاد أن يطلق على المرتفع الذي يتجاوز ٤٠٠ متراً اسم الجبل، وما دون ذلك اعتبر تلاً. ويشترط ألا يزيد عرض القمة أو قطرها عن ١٠٠٠ متر، وإلا اعتبر المرتفع مظهراً آخر من مظاهر الهضاب.

وهناك بعض مصطلحات خاصة بمسميات الأراضي الجبلية، منها لفظ سلسلة range الذي يطلق على النمط الشريطي الممدود من الحافات والقمم الجبلية، التي تتخللها وديان الأنهار، والسلسلة الواحدة غالباً ما تشترك أجزاؤها في خصائص موحدة من حيث ظروف البناء والتركيب الجيولوجي والعمر، مثال ذلك سلاسل جبال لبنان. أما المجموعات الجبلية groups فهي قد تشمل مجموعة من السلاسل القصيرة التي تتجمع حول نواة على شكل عقدة شبه دائرية، أو كتلة متشعبة عنها كالبامير، والنظم الجبلية systems لها مدلول أوسع، إذ تشمل عدداً من السلاسل أو المجموعات تترابط بحكم الموقع أي تتجاور وتتماثل شكلاً وبناء، ولكن تفرق بينها الأحواض كجبال الروكي، وأخيراً يطلق مصطلح كورديليرا Cordillera على أحد النظم الجبلية العظمى كالأنديز.

أنواع الجبال

تنسب أنواع الجبال إلى أصولها أو عوامل نشأتها، كما تقسم حسب الطريقة التي تكونت بها إلى جبال التوائية وجبال انكسارية وجبال بركانية. ومن الواضح أن أهم العوامل التي ساهمت في نشأة الجبال هي الحركات الالتوائية التي تعرضت لها قشرة الأرض خلال العصور الجيولوجية المختلفة، وأهمها الحركات التي حدثت في الزمن الجيولوجي الثالث، وقد سبق أن تكلمنا عن كل هذه الحركات في الفصل الخامس والفصل الثامن من هذا الكتاب. وقد يلعب النشاط البركاني في ذلك دوراً هاماً في نشأة كثير من الجبال، كما تتدخل عوامل التعرية في تشكيلها وينتج عنها ما يعرف بالجبال التحاتية. ولكن ما تجدر الإشارة إليه هنا أن الكثير من الجبال قد أسهم في نشأتها أكثر من عامل واحد من هذه العوامل. فالجبال الالتوائية دائماً تشتمل على انكسارات وكتل انكسارية كما هي الحال في جبال الألب، كما أن الجبال الانكسارية غالباً ما يصاحبها التواء كما هي الحال في السيرانيفادا، وفي هذه وتلك قد تتناثر طفوح اللافا التي تصحب النشاط الأرضي فتنتشر فيها كتل بركانية، أو قد تعلوها مخاريط بركانية لها قمم بارزة من أشهرها قمة أرارات على الحدود التركية الروسية الإيرانية.

(١) الجبال الالتوائية:

وهي التي تتكون نتيجة لتأثر القشرة الأرضية بالضغوط الجانبية على طول المناطق الضعيفة التي تشغلها مناطق البحار الجيولوجية القديمة (البحار الداخلية) Geosynclines فالتوت الطبقات الرسوبية التي تراكمت فيها من قبل وتكونت ثنيات محدبة هي التي تتكون منها الجبال، وثنيات مقعرة هي التي تتكون منها الأحواض والوديان. وأهم الحركات الالتوائية تلك التي تمت منذ النصف الثاني من الزمن الأول (زمن الحياة القديمة، الباليوزوي) والتي لا تزال جبالها تحافظ على ارتفاعها. وأحدث تلك الحركات هي التي تمخض عنها النظام الألبي في أوراسيا والأمريكتين والتي تعرف بالحركة الألبية، ثم الحركة

الهيرسينية التي أصابت كل الدورع القارية القديمة مثل إفريقيا وأستراليا والأمريكتين وأوراسيا. وقد أزالت عوامل التعرية معظم قممها وحولتها إلى كتل هضبية صغيرة. ثم قبلها الحركة الكاليدونية، والتي تتمثل في جبال أسكنديناوة خير تمثيل، والتي حافظت على ارتفاعها لتغطيتها بالجليد أكثر من فترة، الأمر الذي حماها من التعرية، كما أنها حالياً في حالة استعادة التوازن، إذ هي آخذة في الارتفاع.

وتوجد الجبال الألبية، وهي أحدث أنواع الجبال الالتوائية، في جميع القارات، فيما عدا قارة أستراليا، وهي أينما وجدت تمتاز بعظم التواء الطبقات التي تكونها وظهور آثار التعرية في الالتواءات بحيث يصبح مظهرها العام مشرشراً كأسنان المنشار، ويطلق عليها في هذه الحالة باسم سيرا Seirra (وهي كلمة إسبانية تطلق على ذلك النوع من المرتفعات التي تظهر عليها آثار التعرية الشديدة). وقد تمتاز بعض المناطق الالتوائية بوجود البراكين وهذه ميزة خاصة لا نجدها في جميع المناطق الالتوائية لكنها على كل حال ممثلة في منطقة القوقاز ومنطقة البرز وهما حلقة الاتصال بين النظام الألبي في أوروبا والنظام الألبي في آسيا. والبراكين في هاتين المنطقتين من النوع الخامد.

وتشمل المرتفعات الألبية في أوروبا السلاسل الآتية:

البرانس، والألب، والكربات، والبلقان، والأبنين، والألب الدينارية، وجبال بندس (Pindus) وجبال كريت وجبال طوروس (Taurus) وجبال القرم الجنوبية وجبال القوقاز وبجال البرز (Elburz) وهندوكوش وجبال أرمينيا وجبال كردستان وجبال زاجروس (Zagros) وبامير (Pamir) وجبال هيملايا وكركورم وكون لن وتيان شان.

وفي آسيا الشرقية توجد الجبال الألبية في جزر الملايو في سومطرة وجاوة وهي جبال تكللها في كثير من الجهات القمم البركانية.

وفي أمريكا الشمالية تمتد ثلاثة نطاقات متوازية من الجبال الألبية من

السكا في الشمال حتى هضبة المكسيك في الجنوب. وتعتبر جبال الروكي الحائط الشرقي الذي يحد تلك المرتفعات من ناحية الشرق، وعلى هذا المحيط العميق، (المحيط الهادي) ويجاوره من الداخل حائط آخر يمتد موازياً له. ومن أهم سلاسله جبال كسكيد (Cascade) وجبال سيرانيفادا (Sierra Nevada).

وفي أمريكا الجنوبية تمتد ثلاثة نطاقات متوازية من الجبال الألبية شبيهة بالنطاقات التي تمتد في غرب أمريكا الشمالية تعرف بجبال الأنديز. ولكن بينما تتسع المساحة التي تفصل النطاقات في أمريكا الشمالية إلى ما يقرب من ١٦٠٠ كيلومتر في أعظم جهاتها اتساعاً لا تبلغ المساحة التي تفصل بين النطاقات في أمريكا الجنوبية نصف هذا الاتساع في أعظم جهاتها اتساعاً.

(٢) الجبـال الانكساريـة:

وتتكون هذه الجبال نتيجة لحركات قشرة الأرض ولكن بدلاً من أن تلتوي الطبقات كما هو الحال في الجبال الالتوائية فإنها تتكسر وتصيبها الانكسارات. وهي على نوعين:

النوع الأول، تعلو فيه الأرض على طول الانكسارات التي أصابت القشرة الأرضية على حين تبقى الأرض المجاورة ثابتة وهذا النوع نادر الوجود.

والنوع الثاني، تهبط فيه الأرض على طول الانكسارات وتبقى الأرض المجاورة مرتفعة تشرف على الأرض التي هبطت. والأمثلة على هذا النوع كثيرة نذكر منها جبال الفوج في فرنسا وجبال بنين في بريطانيا.

وتنتمي إلى الجبال الانكسارية حواف الهضاب المرتفعة التي هبطت إلى جانبها الأرض وبقيت هي في مستوى مرتفع تشرف منه على الأرض التي هبطت ومن أمثلتها جبال خنجان التي تعد الحافة الشرقية لهضبة منغوليا، وجبال سيخوتا ألن التي تعد الحافة الشرقية لأقليم منشوريا. وقد دعا إلى اعتبار تلك الحواف جبالاً انكسارية أن المنطقة الشرقية من القارة الأسيوية عندما تعرضت

للانكسار السلمي الذي أصابها كانت تنحدر في مجموعها انحداراً تدريجياً نحو الغرب فلما تكسرت المنطقة وهبط أقليم منشوريا إلى الشرق من جبال خنجان وهبط حوض بحر اليابان إلى الشرق من جبال سيخونا آلن، قفزت الحافتان اللتان تتألف منهما جبال خنجان وجبال سيخوتا آلن إلى أعلى فزاد ذلك في ارتفاعهما. وقد تعرضت هاتان الحافتان فيما بعد لعوامل التعرية فقطعتهما وجعلتهما تظهران على شكل سلاسل جبلية.

وبالمثل يمكن أن تعد السلاسل الجبلية التي تمتد في الجزر اليابانية جبالاً انكسارية، وشبيه بها جبال الغات الشرقية التي تحد هضبة الدكن من ناحية الشرق أو جبال الغات الغربية التي تحدها من ناحية الغرب. وشبيه بها أيضاً جبال البحر الأحمر التي تشرف على ساحل البحر الأحمر من جهة الغرب والجبال التي تقابلها من جانب شبه الجزيرة العربية وهي الجبال التي تكملها وتشرف على ساحل البحر الأحمر من جهة الشرق.

(٣) الجبال البركانية:

تعرف هذه الجبال أحياناً بالجبال التراكمية نظراً لأنها تتكون نتيجة لتراكم المواد التي تخرج من البراكين على سطح الأرض، وهي جبال مخروطية الشكل لا تظهر بشكل واحد وإنما تتغير تبعاً لطبيعة المادة البازلتية التي تتألف منها. ومن المعروف أنه ينشأ عن اللافا الحمضية مخروطات قبابية الشكل نظراً لمرونة هذا النوع من اللافا، ومن أمثلتها القباب التي تكون بعض الجزر في المحيط الهندي، والمخروطات التي تنتشر في جبال أوفيرجن Auvergen وهضبة بوهيميا. أما اللافا القاعدية فتنسبط على سطح الأرض بدرجة أكثر من اللافا الحمضية نظراً لأنها أعظم مرونة، ومن أمثلتها المخروطات التي تتكون منها جزر هاواي في الميحط الهادي. وقد تكون المخروطات البركانية مركبة كما هي الحال في جبل فوجي ياما وجبل إتنا. وكثيراً ما تشكل الجبال البركانية قمماً شاهقة، فيما بين السلاسل الجبلية الإلتوائية مثل قمم الأنديز أو فيما بين الكتل

الإنكسارية مثل الجبال البركانية، التي في هضبة شرق إفريقيا وفي أثيوبيا.

كما ينتمي إلى الجبال البركانية، تلك التي تتكون من صخور متداخلة نتجت عن حدوث براكين داخلية، ثم كشفت عنها التعرية، كما هي الحال في جبال هنري في ولاية يوتا الأمريكية. كما ينتمي إليها كذلك القمم البركانية التي تقطعت بفعل عوامل التعرية وزاد انحدار جوانبها مثل جبال منطقة المستنقعات الإنجليزية.

(٤) الجبال التحاتية:

وهي التي تنشأ أصلاً في جهات تعرضت لحركة التوائية، أو حركة تكتونية أخرى بوجه عام، ولكن تدين في شكلها إلى عوامل التعرية. وهي تختلف في ارتفاعها وشكلها مع اختلاف القشرة التي عملت فيها التعرية، ونوع التعرية السائد في الجهة التي تقوم فيها الجبال، ثم نوع الحركة التكتونية التي تعرضت لها القشرة الأرضية أصلاً ومدى تطورها. فأعلى تلك الجبال توجد في مناطق الإلتواءات الحديثة، والتي تعرضت لعصور جليدية، حيث قامت ثلاجات الوديان بنحت جوانب الجبال، مخلفة وراءها قمماً محدبة تعرف بالقرون Horns. كما هي الحال في جبال القرون في سويسرا والنمسا.

كما تنشأ الجبال التحاتية في الأقاليم الرطبة بواسطة المجاري المائية، التي تقوم بتقطيع الطبقات الصخرية تقطيعاً شديداً. كما تؤدي التعرية النهرية إلى تقويض محدبات الإلتواءات. ومع استمرار التعرية في النحت يصبح محدب الإلتواء في مستوى أدنى من مقعر الإلتواء الذي يصبح قمة جبلية كما هي الحال في ظاهرة التضاريس المقلوبة، ويشيع هذا النمط من الجبال في الجهات الجبلية القديمة التي تعرضت للتعرية فترة طويلة.

وينتج عن النحت النهري في الجهات ذات البنيات القديمة نمط من الجبال المتخلفة عن هذا النحت، وتتم نشأة تلك الجبال خاصة إذا تعرض الإقليم لحركة رفع. ومثال ذلك الجبال التي تتخلف عن المنعطفات النهرية فبعد

أن ينتهي النهر من حفر عنق المنعطف ويتخذ مجرى مستقيماً، يترك داخل المنعطف جبلاً تحاتياً يعرف بجبل «الإلتفاف»، ويتميز مثل ذلك الجبل بانحدار شديد في جانب عنق المنعطف، بينما الجانب المواجه للقوس أقل انحداراً. كما يحدث نمط مشابهة نتيجة الأسر النهري لروافد الأنهار. إذ قد يحدث أن يغير أحد الروافد نقطة إلتقائه بالنهر الأصلي إلى موضع آخر في اتجاه المنبع. وبعد أن تنتهي عملية الأسر يتخلف ما بين نقطتي الالتقاء القديمة. والجديدة جبل مستطيل يعرف بجبل «الاختراق». وكلا النمطين السابقين يوجدان بكثرة في مناطق هضاب وسط أوروبا حيث يجري نهر الدانوب وروافده. كما ينتمي إلى هذا النوع المرتفعات الشمالية الغربية في اسكتلندا التي تشغل جزءاً من منطقة التوائية قديمة، وقدخضعت المنطقة لعوامل التعرية المختلفة المائية والجليدية وبفضلها زالت التكوينات القديمة ولم يتخلف منها إلا عدد من الجبال المنعزلة. وشبيه بهذه المنطقة الكتلة الجبلية التي تتألف منها المرتفعات في شبه جزيرة إسكنديناوه والكتلة التي تتألف منها المرتفعات اللورنسية والكتلة التي تتألف منها الأبلاش الشمالية فلقد تأثرت هذه المرتفعات جميعاً بالتعرية المائية والجليدية وتأثرت بها زمناً طويلاً حتى زال جزء كبير من التكوينات القديمة التي كانت تتألف منها وما بقي من تلك التكوينات يؤلف في الوقت الحالي نوعاً من الجبال التحاتية.

وهناك في الأجزاء الجنوبية من ولاية داكوتا بالولايات المتحدة منطقة واسعة من الجبال التحاتية مؤلفة من تكوينات لينة من الطفل والحجر الرملي قد تأثرت بالتعرية تأثيراً بالغاً.

وهناك نوع من الجبال التحاتية يتخلف على سطح الأرض من هضبة كانت تشغل المنطقة أو كتلة جبلية كانت تقوم فيها بعد أن تزيل التعرية بقية التكوينات التي كانت تتألف منها. ومن أمثلته المشهورة جبل «Monadnock» الذي يوجد في نيوهامشير بالولايات المتحدة الأمريكية. وهو يتألف من قمة من الصخور الأركية الصلبة تعلو عن مستوى البحر بنحو ١٠٠٠ متر ويبدو في وسط المنطقة ككتلة جبلية منعزلة.

ومن أهم الجبال التي تنشأ عن التحات تلك التي تقوم على حواف القارات والكتل الصلبة الكبرى التي تعرضت أطرافها لحركة إنكسارية أو التواء بسيط. إذ تقوم التعرية بأنواعها المختلفة بزيادة الفواصل والوديان الناشئة في الحافة بحيث تحولها إلى قمم جبلية مستقلة.

الأهمية الجغرافية للجبال

تعد الجبال بأنواعها الأربعة أقل مظاهر التضاريس صلاحية للتوسع الزراعي بسبب شدة انحداراتها وانجراف تربتها باستمرار، ولئن وجدت بها بعض الأحواض التي تصلح للزراعة فإنها تكون صغيرة ولا تصلح للإنتاج على نطاق واسع، كما أنها لا تسمح بقيام مراكز عمرانية كبيرة. وهي تعتبر في نفس الوقت عوائق أمام المواصلات البرية المختلفة، ومع ذلك فأنها تساعد على وضع حدود سياسية واضحة، وكثيراً ما تحتوي على ثروات معدنية كبيرة، كما يمكن الاستفادة منها كمنتجعات صيفية وأماكن لممارسة مختلف الرياضات.

ونظراً لتعقد التضاريس في مناطق الجبال فإنها تضم عادة بيئات متباينة في أماكن متقاربة، كما يتدرج المناخ على جوانبها من أسفل إلى أعلى، لدرجة أنه قد يكون مدارياً حاراً على سفوحها وقطبياً على قممها.

ثانياً: التلال

تعد التلال أكثر الأشكال التضاريسية شيوعاً وانتشاراً في يابس سطح الأرض، وهي تشبه الجبال في مظهرها العام، إلا أنها أقل ارتفاعاً، وإن كان بعضها لا يقل وعورة وتضرساً وتقطعاً من الجبال. وهناك صلة وثيقة بين التلال وغيرها من الأشكال التضاريسية الأخرى على سطح الأرض، فمثلاً هناك صلة بين التلال والهضاب المقطعة، فكلاهما أراض مضرسة منحدرة الجوانب وإن قلت المناسيب، كما أن هناك صلة وثيقة بين التلال وغيرها من الأشكال التضاريسية من ناحية الموقع أو المكان، فقد تظهر التلال عند قواعد الجبال

الشاهقة الارتفاع أو فوق أسطح الهضاب، أو قد تنتشر مجموعاتها فوق صفحة الأراضي السهلية الفسيحة.

أنـواع التـلال

تختلف التلال في أصلها وعوامل نشأتها وتشكيلها، مثلها في ذلك مثل الجبال والهضاب، فبعضها تظهر قسماته وملامحه أثر عوامل التكوين البنائي للصخور التي تتكون منها، وبعضها الآخر تنعكس عليه آثار عمليات التعرية نحتاً وإرساباً. ولسهولة دراستها تصنف التلال، تبعاً لعوامل نشأتها وتشكيلها إلى نوعين رئيسين هما: التلال التكتونية (البنيوية) والتلال التحاتية والإرسابية.

(١) التلال التكتونية (البنيوية)

وهي التي تتكون نتيجة لتعرض طبقات من الرواسب للتجعد والانثناء لا تلبث عوامل التعرية أن تمارس نشاطها فيها، حتى تكشف ما بها من التكوينات الصخرية اللينة التي تزيلها، أما التكوينات الصخرية الصلبة فإنها تبقى بارزة لشدة مقاومتها لتلك العوامل، فتنشأ على امتدادها التلال التي تفصل بين الأراضي المنخفضة والوديان وتتخذ لذلك نمطاً تضاريسياً يتكرر مع توالي وتعاقب التكوينات اللينة والصلبة، فتظهر التلال في شكل نطاقات متوازية تقريباً تحصر بينها أشرطة من القيعان والبطون.

(٢) التلال التحاتية والإرسابية

يدين هذه النوع من التلال بوجوده لعوامل التعرية، فهي التي تشكله وهي التي تخلقه من تضاريس سطح الأرض وظاهراته المختلفة التي تخضع لفعلها، فحينما تكون الطبقات الصخرية بمناطق التلال أفقية الوضع، أو في شكل كتل مندمجة متجانسة في تركيبها وصلابتها، فإن ذلك يفسح المجال أمام عمليات النحت وحدها لكي تقوم بصياغة أشكال التلال. فالمجارى النهرية عندما تقطع تلك المناطق، فإنها تتفرع في شبكات شجرية الشكل، ومن ثم ترسم حافات

التلال نفس هذا النمط الشجري فيما بين التفرعات النهرية. كما قد يؤدي الجليد في المناطق التي يجتاحها إلى نشأة صفوف من التلال تبرز فيما بين الأودية الغائرة التي حفرتها ألسنته. وبالمثل ففي المناطق التي انتهى إليها الجليد وأرسب فيها حمولته من الركام تتكون صفوف أخرى من تلال إرسابية. وفي بعض الجهات الصحراوية قد تتراكم الرمال على شكل تلال صغيرة متحركة من الكثبان والتي قد يغطي بعضها مئات الكيلومترات المربعة من سطح الصحراء، كما هي الحال في منطقة بحر الرمال العظيم فيما بين مصر وليبيا، وصحراء الربع الخالي جنوب شرق شبه الجزيرة العربية.

التوزيع الجغرافي للتلال

(١) في إفريقيا:

تتصف كثير من أجزاء سطح الأرض غير الهضبية في قارة إفريقيا بانتشار التلال عليها والتي قد تتلاحم أحياناً بأراضي الهضاب. ويقع أكثر هذه التلال في النصف الجنوبي من القارة جنوب الصحراء الكبرى، حيث تلف أراضيها الهضاب الداخلية في كل من هضبة البحيرات بوسط شرق القارة وحوض الكونغو وفي هضاب جنوب إفريقيا المتسعة. أما في النصف الشمالي من قارة إفريقيا فيغزوه حزام قوس من التلال يشكل معبراً يربط بين قلب الصحراء الكبرى وبين الأراضي التلالية المترامية على الأطراف الشمالية لحواف حوض الكونغو الهضبية. وتظهر التلال كذلك في شمال غرب القارة عند قواعد جبال أطلس، وكذلك تبدو التلال مرة أخرى في شمال شرق القارة على طول ساحل البحر الأحمر ممتدة ناحية الجنوب عبر أريتريا إلى أراضي الصومال والساحل الشمالي للقرن الأفريقي.

(٢) في أوروبا:

تسود التلال في جميع أجزاء القارة ـ فيما عدا منطقة السهل الروسي والجبال الالتوائية الألبية. ففي شمال القارة توجد التلال في كل من بلاد السويد

والنرويج وفنلندا حيث تغطي منحدراتها الشمالية الغابات وتكتنفها البحيرات بشكل يناظر مثيله في شرق كندا، أما منحدراتها الجنوبية فتتميز بدفئها مما يهيؤها للزراعة والرعي. وتظهر التلال في الجزر البريطانية حيث تغطي كثيراً من أراضي اسكتلندا وشمال وغرب إنجلترا وكل أراضي ويلز وجزيرة إيرلندا باستثناء مناطقها الوسطى. أما في جنوب القارة فتمتد التلال ما بين المحيط الأطلسي وبحر ايجه والبحر الأسود من ناحية، وبين البحر المتوسط ووسط ألمانيا وجنوب بولندا من ناحية أخرى، وتعترض سلاسل الجبال والأراضي السهلية المتفرقة هذه المنطقة الشاسعة بما لا يعطي للتلال الصفة الغالبة فيها. وتجدر الإشارة هنا إلى الأراضي التي تشغلها أقطار البرتغال وإيطاليا ويوغوسلافيا وتشيكوسلوفاكيا وبلغاريا واليونان تغلب عليها التلال أكثر من بقية الأشكال التضاريسية السطحية الأخرى. وفي شرق قارة أوروبا توجد التلال على شكل سلاسل تلية تتمثل في سلاسل الأورال التلية التي تفصل في أقصى شرق القارة بين السهول الآسيوية في الشرق والسهل الروسي الأوروبي في الغرب.

(٣) في آسيا:

تتصف قار آسيا بأنها تمتلك النصيب الأكبر من التلال بين قارات العالم، حيث تنتظم هذه التلال في شكل حلقة شبه متصلة ما بين المحيط المتجمد شمالاً والمحيط الهندي جنوباً، وما بين أواسط القارة غرباً والمحيط الهادي شرقاً. وقد كان لهذا الاتساع انعكاساته على الظروف الطبيعية الأراضي التلية التي تتراوح ما بين الظروف المدارية الرطبة وظروف التجمد في التندار، ففي الجنوب تنتشر التلال فوق الجزء الأكبر من شبه جزيرة الدكن وبورما وجنوب الصين. كما تمتد التلال في أرخبيل جزر غانة الجديدة وأندونيسيا. وتبدو التلال مرة أخرى غرب القارة عند قواعد جبال اليمن ومرتفعات عسير والحجاز وامتدادها شمالاً في تلال جنوب الأردن على طول وادي عربة.

(٤) في أستراليا:

تستكمل التلال الآسيوية في أرخبيل أندونيسيا طوقها بعد ذلك على طول الهامش المرتفع من قارة أستراليا، وجزيرة تسمانيا، والقسم الأكبر من أراضي جزيرتي نيوزيلندا. وتقوم التلال الأسترالية بدور الحاجز الذي يقف حجر عثرة أمام المؤثرات المحيطية الرطبة الآتية من الشرق وبين الأراضي الداخلية من القارة، بما يؤدي إلى سيادة ظروف الجفاف بها.

(٥) في أمريكا الشمالية:

تنتشر معظم أراضي التلال بالجهات الشرقية من القارة، وقليل منها يظهر في الجهات الداخلية وعلى الحواف الغربية من القارة. فتغطي التلال الجزء الشمالي الشرقي ممن القارة مشتملة كل جزيرة لبرادور وممتدة حتى شمال وشرق أقليم البحيرات العظمى، كما تنتشر التلال مرة أخرى إلى الجنوب من مصب سانت لورنس عبر نيوبرنزويك وولايات نيوانجلند، متصلة أو ملتصقة بمرتفعات الأبلاش التي تغطي مساحة غالبية الولايات الشرقية المطلة على المحيط الأطلسي. ومما تجدر الإشارة إليه أن معظم الأراضي التلية في هذه المنطقة من القارة شديدة التقطع حيث شقتها أودية أنهار أهمها سانت لورنس وهدسن والأوهايو، وبعضها يتميز بمعدلات انحدار كالجبال أو أكثر منها. وفي غرب القارة تمتد التلال على طول القواعد الشرقية لجبال الروكي، كما تنتشر شمالاً ثم شمالاً بغرب وغرباً، لتغطي معظم الأراضي الداخلية من ألاسكا. كما تسود أراضي التلال على امتداد ساحل المحيط الهادي من الحدود الكندية شمالاً حتى الطرف الجنوبي لشبه جزيرة كاليفورنيا، أما في الجنوب فتنتشر أراضي التلال عند أقدام جبال سيرامادري الغربية بالمكسيك حتى داخل ولاية الأريزونا الأمريكية.

(٦) في أمريكا الجنوبية:

تنتشر التلال في الشطر الأكبر من شمال شرق القارة وتفصل بينها هنا

هضاب أو سهول فيضية فسيحة، كما تنتمي إليها أراضي جيانا وتتمتها في الهوامش الجنوبية لسهل الأمزون ومرتفعات شرق البرازيل. وتقوم التلال في القارة بدور مشابهة لنظيراتها بشرق أمريكا الشمالية من حيث الفصل بين الساحل والداخل، خاصة إذا أضفنا اليها كتل الهضاب والجبال التي تتلاحم معها. وباستثناء التلال الساحلية ما زالت الجهات الداخلية من القارة أرضاً مجهولة لم تمسح طبوغرافياً أو توقع تفصيلاتها على الخرائط. أما على الجانب الغربي من القارة، فتنتشر الأراضي التلية بامتداد ساحل تشيلي وبيرو وبعض جهات كولومبيا وإكوادور بالقرب من الساحل. وكما هي الحال في مثيلاتها بأمريكا الشمالية تقع التلال بين مياه المحيط الهادي من جهة وسلاسل جبال الأنديز الشاهقة من جهة أخرى.

الأهمية الجغرافية لأراضي التلال

تستثمر أراضي التلال على نطاق كبير، خاصة إذا كانت تمزقها أودية نهرية، في أغراض الزراعة والرعي والتحريج، بمساعدة لطف المناخ ورطوبته، ففي كثير من الأراضي التلية أقيمت المدرجات الزراعية على الجوانب الدنيا من التلال بعناية تنتزع الإعجاب، خاصة في أراضي التلال بالقسم الجنوبي من قارة أوروبا وفي الأراضي التلية في جنوب وشرق قارة آسيا التي يتكاثف السكان فوقها بسبب ضيق الأراضي المستوية عن استيعابهم، وهنا أقاموا فوق كل شبر منها اقتصاداً زراعياً كثيفاً. كما أن الأراضي التلية تشكل المصادر الرعوية والغابية لتلك البلاد التي تمتلكها، وبفضل رطوبة المناخ وانحدار السطح لأراضي التلال، خاصة في الجزر البريطانية، أن أصبحت هذه الأراضي مورد للطاقة الكهربائية اللازمة للصناعة من أنهارها. ويتبع النمط العمراني النمط التضاريسي للتلال، كما تتبع شرايين المواصلات نفس النمط فتمتد في بطون الوديان التي تنحصر كأشرطة بين أحزمة التلال المتوازية، ويبدو ذلك بصفة في مناطق التلال التكتونية البنيوية.

الفصل الحادي عشر

الـهضـاب

الهضـــاب

تعرف الهضاب بأنها مساحات واسعة من الأراضي ذات أسطح شبه مستوية، وترتفع عن مستوى سطح الأرض المحيطة بها، وتتميز بأنها على درجة ما من التجانس من الارتفاع بين أجزائها المختلفة، ويحيط بها جانب منحدر أو أكثر، وقد تكون جوانبها المحيطة شديدة الانحدار بحيث يصبح سطح الهضبة واضح الحدود، فتأخذ الهضبة بالتالي شكل منضدة Tableland. وتجمع الهضاب بين بعض خصائص الجبال والسهول، كما تناقضهما تماماً في بعضها الآخر. فالهضاب شبيهة بالجبال في ارتفاع مناسيب بعضها كما أنها تتميز بأن جوانبها شديدة الانحدار تظهر على شكل حافات قائمة أو جروف تقف بشدة عند حوافها بشكل قد يفوق درجات انحدار جوانب الجبال، ويستوي في هذا أن تكون هذه الجوانب قد تكونت بفعل النحت النهري أو البحري أو الانكسارات، كما أنه مع مرور الزمن تنهار هذه الحافات فتتراجع الجروف من عدة اتجاهات بواجهات متوازية في المراحل المتتالية، مما يسبب تضاؤل مساحات الأسطح العليا للهضاب، بينما تختلف عن الجبال في تواضع معدلات تضرسها المحلي، إلا في حالة تقطعها بخوانق نهرية كبرى كما هي الحال في خانق الكولورادو العظيم. كما أن الهضاب شبيهة بالسهول في استواء أسطحها، ولكنها تختلف عنها في اشتمالها على بعض معالم التضرس التي تعلو أسقفها. وقد كانت كثير من الهضاب عبارة عن سهول، ولكنها ارتفعت وتقطع سطحها بواسطة وديان عميقة أو بسبب الانكسارات فأخذت مظهر الهضاب. وقد يرجع استواء أسطح الهضاب إلى الوضع الأفقي لطبقات الصخور التي تتكون منها والتي إما أن تكون

طبقات صخرية شديدة المقاومة لعمليات النحت، أو عظيمة النفاذية وفيرة المسام كالرمال والحصى الذي يساعد على تسرب الماء وإضاعته قبل أن يحفر في السطح مجار مائية تقطعه وتضرسه، أو لوجود مواد بركانية أغرقت السطح فملأت فجواته وأدت إلى تسويته، أو إلى قلة تقطع السطح بالمجاري المائية، إما لحداثة السطح، أو لجفاف المناخ.

ولتكوين الهضاب شروط لا بد من توافرها، منها:

١ ـ أن ترتفع المنطقة السهلية حتى يعلو مستوى سطحها عن مستوى القاعدة بقدر يكفي لتنشيط الأنهار في عمليات النحت الرأسي وتعميق الوديان. ويتوفر هذا الشرط غالباً في المناطق التي أصابتها حركات رفع حديثة، والمناطق التي تراكمت فوقها غطاءات سميكة من اللافا.

٢ ـ ألا تكون المنطقة قد وصلت إلى مرحلة متأخرة في تطورها حتى لا يكون سطحها الأصلي قد اختفى بفعل القعرية.

٣ ـ أن تكون صخور الطبقة السطحية للمنطقة شديدة الصلابة حتى تحمي الطبقات التي تحتها من عوامل التجوية والنحت.

تصنيف الهضاب

تختلف الهضاب فيما بينها من حيث المظهر التضاريسي والاتساع ومن حيث التكوين الجيولوجي وتطورها. ولسهولة دراستها يمكن تصنيفها إلى نوعين رئيسيين هما: الهضاب التكتونية والهضاب التحاتية أو هضاب التعرية.

أولاً: الهضاب التكتونية

وينقسم هذا النوع من الهضاب إلى الأنماط التالية:

١ ـ الهضاب الرئيسية الكبرى التي تتمثل في الكتل القارية التي تفككت عن قارة جندوانا وتعرف بالهضاب القارية مثل هضاب جنوب إفريقيا وشمالها، وهضبة شبه جزيرة العرب وهضبة الدكن وهضبة غرب أستراليا. وتتميز هذه

الهضاب العظمى بقدمها، وبالتالي كثرة التطورات التي مرت بها. ومن أبرز خصائصها وجود حواف واضحة في نهاياتها سواء نتيجة حركة إنكسارية أو حركة إلتوائية بسيطة.

٢ ـ هضاب صغيرة من أصل كتل إنكسارية قافزة أو مندفعة مثل الضهور Horsts، ومن أهم خصائصها انتهاء أطرافها بحواف انكسارية واضحة المعالم مثل هضاب الغابة السوداء والشطوط والتبت والأناضول ويوكن.

٣ ـ هضاب قبابية نشأت من حركة رفع في القشرة يتبعها التواء محدب بسيط في الطبقات وإنكسار في الأطراف يؤدي إلى الشكل القبابي، وهي تشغل مساحات صغيرة فوق الكتل القارية مثل جنوب الميسوري وشمال أركنساس.

٤ ـ هضاب نشأت لميل الكتل من جانب وارتفاعها من جانب آخر، بحيث يصبح الجانب المرتفع بمثابة حافة مثل هضبة الميزيتا.

٥ ـ هضاب بينية Intermountain (الهضاب الجبلية الحواشي)، وهي التي تنحصر بين سلاسل النظم الإلتوائية، وتدين في ارتفاعها للحركة التي أدت إلى قيام النظام الإلتوائي، ويتمثل هذا النوع في هضاب: التبت وهضبة الأناضول وهضبة إيران في آسيا، وهضبة بوليفيا والمكسيك في الأمريكتين. ومن أهم خصائص تلك الهضاب استقبالها لكميات كبيرة من الإرسابات، التي تحملها إليها المجاري المائية من الجبال المجاورة، الأمر الذي يؤدي إلى إغراق المرتفعات التي تقع على تلك الهضاب. وغالباً ما تضم هذه الهضاب أحواضاً جافة من نوع البلسون، كما هي الحال في هضبة المكسيك التي تضم حوص مامبيمي Manpimi ، كما تضم عدداً من البحيرات الملحية والمستنقعات في أجزائها المنخفضة.

٦ ـ الهضاب المتاخمة للجبال (هضاب قواعد الجبال)، وهي تدين في نشأتها الى نفس الحركات التي أدت إلى قيام الجبال إلا أن الحركة التي تعرضت قشرة الهضبة كانت حركة رفع رأسية، ويمثلها هضبة البدمونت في أمريكا

الشمالية، التي تقع شرق خط المساقط، وتنحدر نحو الشرق انحداراً بسيطاً، وقد كشفت التعرية المائية عن الصخور المتحولة التي التوت بشدة. وتأخذ تلك الهضبة شكل سهل متماوج أقرب منها إلى شكل الهضبة. وكذلك هضبة يونان التي تقع عند أقدام جبال جنوب الصين، ومثل الهضبة التي تمتد شرق قواعد الأنديز في جنوب كولمبيا.

٧ ـ الهضاب البركانية: وتنشأ هذه الهضاب نتيجة ثورانات بركانية وخروج اللافا من شقوق متعددة وعلى درجة كبيرة من السيولة لا تسمح لها بأن تكون مخاريط جبلية، بل تنساب من أعلى الفوهات والشقوق حتى تملأ جميع المنخفضات المحيطة. وغالباً ما يتم انبثاق اللافا على مراحل متعاقبة. كما أنه يندر أن توجد في المراحل الأولى لإنبثاق اللافا خروج مواد صخرية صلبة. ويمكن التمييز بين نوعين من الهضاب البركانية: الهضاب الكبرى التي تشغل حيزاً كبيراً مثل غطاءات اللافا الأيسلندية، وهضبة أثيوبيا والغطاءات البازلتية في شمال غرب الدكن وهضبة كولومبيا. والنوع الثاني هو الهضيبات الصغيرة التي تقوم نتيجة مقاومة السطح البركاني للتعرية وحمايته بالتالي للصخور التي تحته، بنيما تقوض التعرية الأرض المحيطة بها. وتحافظ الهضيبات بالتالي على ارتفاعها. مثل هضيبات اليمن البركانية وهضبة حوران وحرات غرب شبه جزيرة العرب.

ثانياً: الهضاب التحاتية (هضاب التعرية)

وهي تنشأ في الكتل الجبلية القديمة التي تعرضت للتعرية فترة طويلة. والنوع الشائع منها هي الهضاب التحاتية التي تقوم بعد أن يسوي النحت قمم الجبال. وإلى هذا النوع تنتمي هضبة بريتاني وهضبة الأردن وهضبة بوهيميا وهي جميعاً مناطق التوائية قديمة. وتختلف تلك الهضاب فيما بينها في الحجم حسب نوع التعرية السائدة والمرحلة التي بلغتها دورة التعرية. والنوع السائد من الهضاب في الصحاري الحارة هو الميزا Mesas أما النوع الذي يسوف في

الجهات الرطبة هو هضاب الحواف المتدرجة أو الكويستات (Custas). ويشترط لنشأة تلك الحواف تعاقب طبقات صخرية مختلفة المقاومة للتعرية مع حركة تكتونية تؤدي إلى ميل الطبقات بحيث تسمح بالتعرية الجانبية للأنهار. ونظراً لاختلاف مقاومة الصخور، فإن الكتلة تنحت من طرفها الذي يتبع ميل الطبقات حيث تجري الأنهار فوقه على مستويات مختلفة، ومن هنا يطلق عليها اسم الهضاب المتدرجة الطبقات. ومن أمثلتها هضبة سوابن في ألمانيا واللورين في فرنسا.

وقد ينتمي إلى هذا النمط من الهضاب بعض الهضاب الالتوائية إذا تعرضت للتعرية المائية مثلاً واستطاع هذا العامل أن يقطعهما إلى أجزاء منفصلة ومن الأمثلة على ذلك الهضبة التي تقع في الجنوب الغربي من الولايات المتحدة الأمريكية وهي الهضبة التي يخترقها نهر الكولورادو وتتألف هذه الهضبة من طبقات رسوبية ترجع إلى الزمنين الأول والثاني وتمتد امتداداً أفقياً ويغطيها في بعض الجهات تكوينات سميكة من اللافا.

وقد ينتمي إلى الهضاب التحاتية أيضاً بعض الهضاب الانكسارية إذا تعرضت هذه الهضاب لعوامل التعرية واستطاعت هذه العوامل أن تزيل الكثير من تكويناتها وأن تقطعها إلى هضبات منفصلة ومن الأمثلة على ذلك هضبة البرازيل، فهي كما قلنا جزء قديم من قارة جندوانا انفصلت عنها بفعل حركات القشرة. ونظراً لأن الجزء الأكبر من الهضبة يقع في مناطق مدارية غزيرة الأمطار فقد استطاعت المجاري المائية التي تنحدر عليها أن تحفر لها أودية عميقة أغلبها طولي يمتد من الجنوب إلى الشمال واستطاعت أن تقسم الهضبة إلى أجزاء كثيرة تفصلها أودية الأنهار بعضها عن بعض.

كما يوجد نوع من هضاب الإرساب إلا أنه نادر الجروف، وينتج ذلك عن امتلاء الأحواض بالمواد الرسوبية من الجبال المجاورة، ويطلق عليها هضاباً نظراً لارتفاعها النسبي فوق مستوى سطح البحر رغم أنها أقرب إلى السهل منها إلى الهضبة، ويمثل هذا النوع إقليم مقدم الألب في جنوب ألمانيا.

التوزع الجغرافي للهضاب

توجد الهضاب بأنواعها المختلفة في كل القارات، وخصوصاً في الأقاليم الجافة وشبه الجافة، ولكنها تتباعد وتتناثر في بعضها كما هي الحال في قارة أوروبا، وقد تتلاحم وتتقارب في بعضها الآخر على نحو ما هو قائم في قارة إفريقيا.

(١) في إفريقيا:

توصف هذه القارة أحياناً بأنها هضبة عملاقة واحدة، تمتد من جنوب جبال أطلس شمالاً حتى حافة جنوب إفريقيا جنوباً، لأن كل حوافها تقريباً قائمة أو شديدة الانحدار، كما أن نسبة مساحة أراضي الهضاب وحدها تفوق جميع الأشكال التضاريسية السطحية في القارة، على الرغم من تخللها بعض فجوات ممثلة في قليل من السهول الكبرى، وعدد أكبر من السهول الصغرى ومساحات أوسع من أراضي التلال.

وتمثل قارة إفريقيا أكبر الكتل القارية التي تفككت عن قارة جندوانا القديمة. وباستثناء هضبة أثيوبيا البركانية، فإن الهضبة الإفريقية قليلة الارتفاع بوجه عام، إذ نادراً ما توجد بها أسطح يتجاوز ارتفاعها ٤٠٠٠ متراً. وتقسم الهضبة إلى قسمين رئيسيين من حيث الارتفاع هما: إفريقيا السفلى، أي المنخفضة، وهي التي لا يزيد متوسط ارتفاعها عن ١٠٠٠ متر، فوق مستوى سطح البحر، وإفريقيا العليا، أي المرتفعة، وهي التي يزيد ارتفاعها عن ذلك المستوى. ويفصل بين القسمين خط يتبع الحافة الغربية لهضبة إثيوبيا، ويمتد جنوباً بعد ذلك على طول الحافة الغربية لأخدود وسط إفريقيا حتى الطرف الجنوبي الغربي لبحيرة تنجانيقا، ثم يتجه غرباً مع الحافة الجنوبية لحوض الكنغو. ورغم اختلاف التطورات الجيولوجية، والظروف المناخية التي تعرض لها في الماضي ويتعرض لها في الوقت الحالي كل من القسمين، فإن هناك خصائص مشتركة بينهما وهي:

أ ـ وجود الهضاب ذات الأسطح التحاتية، والتي قامت بفعل التعرية المائية في إفريقيا العليا ـ وبفعل التعرية الهوائية في إفريقيا السفلى.

ب ـ وجود الأحواض التي يفصل بينها مناطق تقسيم مياه شبه مستوية في إفريقيا العليا، أو كتل جبلية مشوهة من فعل الرياح في إفريقيا السفلى. كما أن الأحواض امتلأ بعضها بإرسابات نهرية، والآخر بإرسابات هوائية حسب ظروف المناخ الذي تعرضت له. كما أن تلك الأحواض بعضها من أصل تكتوني خاصة الأحواض الكبرى وبعضها من عمل التعرية.

جـ ـ وجود الجبال الجزيرية (الانعزالية)، كما في إفريقيا العليا، ويناظرها أعلام الجبال «المونادنوك»، في إفريقيا السفلى.

وتضم إفريقيا العليا ثلاث أقاليم مرتفعة وضيقة نسبياً هي: هضبة أثيوبيا، وهضبة شرق إفريقيا (هضبة البحيرات) ثم إقليم الفلد الذي ينتهي في مرتفعات داركنزبرج في جنوب إفريقيا. والهضبتان الأولتان بركانية الأصل، أما الثالثة فقد قامت نتيجة حركة رفع في إقليم جنوب إفريقيا، مما أدى إلى ظهور تلك الجبال التي نشأت عن التمزق في القشرة التي تقع فيها أعلى أجزاء الحافة الإفريقية الكبرى The Great Escarpment. وتنتهي واجهة تلك الحافة نحو الشرق بإنحدار حائطي، بينما تنحدر تدريجياً نحو الغرب بحيث تكون طبقاتها إقليم الفلد الأعلى وحوض كلهاري ويستمر امتداد طبقاتها حتى وادي اللمبوبو. وبهذا القسم من جنوب إفريقيا يمكن التمييز بين قسمين ثانويين يرتفعان عن المستوى العام للهضبة، وهي هضبة جنوب غرب إفريقيا، وبها تسود طبوغرافية الأقاليم الصحراوية الجافة. ثم هضبة Bibe في أنجولا ومنها ينبع روافد نهر كوانزا وروافد نهر الزمبيزي العليا. أما الأحواض فأهمها حوض بحيرة فيكتوريا، وحوض كلهاري، وهي أكبر الأحواض والأخير من نمط الأحواض ذات الصرف الداخلي.

وتدين الخصائص الطبوغرافية لهضبة إفريقيا العليا ـ باستبعاد هضبة

أثيوبيا ـ إلى تطورها الجيولوجي. فقاعدتها تتكون من صخور بللورية قديمة ظلت في حالة استقرار منذ الزمن الأركي، إذ لم تتعرض لأي حركة التوائية تذكر. بينما عملت التعرية على نحتها وإزالة التكوينات البحرية القديمة، وإحلال إرسابات قارية محلها. ثم تعرضت للاضطراب في قشرتها في الزمن الثالث مع الحركة العنيفة التي تعرض لها الدرع الإفريقي الذي نشأ عنه الأخدود وإنكسار الكاميرون، وما صحب تلك الحركة من طفح بركاني يتمثل في هضبة إثيوبيا وكلنميجارو وجبل كينيا وجبال الكاميرون. وقد ترتب عن ذلك الاضطراب في إفريقيا العليا تمزق في القشرة حولها إلى كتل هضبية وأحواض تكتونية. أما عن الظروف المناخية التي ساهمت في تشكيل السطح، فقد تعرضت إفريقيا العليا ـ من جنوبها ـ لتغييرات مناخية أهمها عصر جليد البرمي والكربوني الذي ترك آثاره من تكوينات الكونجلومرات في جنوبها، حيث غطى الجليد منطقة ناتال، ومنها زحف إلى جميع الاتجاهات. وفي الزمن الثالث المتأخر، تعرض جنوب الإقليم وسواحله في الصومال وسواحله الغربية لغمر البحر.

وتعد هضبة إثيوبيا إحدى الهضاب البركانية الرئيسية في العالم، كما أنها أعلى أقاليم إفريقيا. وهي ترتفع بسرعة من سهول السودان نحو الداخل، كما تطل بانحدار مفاجىء من الشرق على إقليم أريتريا، حيث يبلغ متوسط ارتفاعها من تلك الجهة ما بين ٢٠٠٠، ٣٠٠٠ متر. والهضبة معقدة التضارس، بحيث يصعب اختراقها إلا من الجنوب الغربي عن طريق الوادي الأخدودي، أو من الغرب عن طريق وديان روافد النيل.

وصخور القاعدة لهضبة أثيوبيا تتألف من صخور بللورية من الجرانيت والديوريت والنيس والكوارتزيت، وغيرها من الصخور النارية والمتحولة، التي ترسب فوقها تكوينات بحرية في مياه ضحلة. مثل الحجر الرملي والجيري والجبس. وفي الزمن الثالث تعرضت تلك القاعدة إلى طفح بركاني، نتج عن تصدع القشرة وتكون الأخدود الإفريقي العظيم الذي يختطها. فاستقرت

تكوينات من البازلت ورماد اللافا فوق الصخور الرسوبية. ويقدر سمك الصخور البركانية بحوالى ٢٠٠٠ متر في إقليم شوا. وقد كشف عن الصخور الرسوبية خانق نهر الأباري رافد النيل الأزرق الأعلى الذي يصل عمقه إلى ١٥٠٠ متر. ويحتل البازلت والتراخيت القدر الأكبر من سطح الهضبة. ولا تزال تلك الهضبة في حالة عدم استقرار تكتوني لما بها من براكين لا تزال ثائرة ونافورات حارة وزلازل.

أما إفريقيا السفلى، فباستثناء حوض الكنغو وحوض بحر الغزال وساحل غانة وكلها تقع في مناخ استوائي أو مداري رطب. فإنها تتميز بخصائص مورفولوجية من نمط الأقاليم الجافة. وتتمثل هذه الخصائص في الصحراء الكبرى، وإن كانت قد تأثرت بتغيرات مناخية ما بين رطبة وجافة. ويقع ثلاثة أرباع مساحة الصحراء الكبرى ما بين ٢٠٠ إلى ٥٠٠ متر. والملاحظ أن الجهات التي تقع أدنى من مستوى ٢٠٠ متر، تقع في الشمال والغرب، وتوجد غالباً قرب البحر. وتقع أجزاء منها أقل من مستوى سطح البحر، يقدر مساحتها بحوالى ١٠٠٠ ألف كيلومتر مربع مثل الشطوط الجنوبية ومنخفض القطارة (ـ ١٣٤ م). أما الأجزاء المرتفعة، فتقع في قلب الصحراء، وتشغل مساحة تقدر بحوالى ٨٠٠ ألف كيلومتر مربع، أي عُشر مساحة هضبة شمال إفريقيا الصحراوية وأعلى قمة بها هي إمي كوسى في جبال تبستي (٣٥١٥ م).

(٢) في أوروبـا:

تتصف أوروبا ـ على العكس من قارة إفريقيا الهضبية، بأنها قارة قليلة الهضاب، وإن وجدت فمساحاتها محدودة، مثل الهضاب التي توجد في غرب ألمانيا وشرق فرنسا وجزء من شرق بلجيكا وهي من نوع «الهورست» وخصوصاً في منطقة الفوج والغابة السوداء حول نهر الراين. أما كل من هضبتي فرنسا الوسطى وبوهيميا فهما من التقطع وعدم استواء سطحهما بشكل يدعو إدخالهما ضمن أراضي التلال.

وتعد هضبة الميزتيا Meseta الأسبانية، التي تشغل قلب شبه جزيرة أيبيريا، أكبر الهضاب الأوروبية قاطبة، وتمتد ما بين جبال كنتيريا شمالاً وحوض الوادي الكبير جنوباً. وهي هضبة انكسارية من الضهور Horsts (هورست)، وكانت في الأصل جزء من نظام الجبال الهرسينية، ثم تحولت إلى سهل تحاتي عالي ثم غرقت تحت مياه بحر تشس القديم، ثم عادت وارتفعت في الزمن الثالث. كما مالت نحو الغرب، إلا أنها تعتبر كذلك من نمط الهضاب المنضدية. ويتراوح ارتفاعها ما بين ١٠٠٠ متر شرقاً و ٥٠٠ متر غرباً قرب البرتغال. ويختطتها ثلاثة مجموعات من السلاسل الجبلية التي يزيد ارتفاعها عن ٢٥٠٠ متر في بعض القمم. والمجموعة الشمالية منها وتشمل جبال سيرا جوادارام وسيراجريدوس وسيراأفيلا وجاوا. أما المجموعة الثانية، فتتمثل في جبال طليطلة، وهي تشبه السلسلة الأولى إلا أنها أقل ارتفاعاً، أما المجموعة الثالثة فهي سلاسل سيرامورينا التي تكون الحافة الجنوبية للهضبة التي تطل على الأندلس. وهي ليست جبالاً بالمعنى الحقيقي، ولكن عبارة عن طرف الهضبة الذي تعرض للالتواء.

وإلى الشمال من المجموعة الوسطى يقع حوض قشتالة وليون ومتوسط ارتفاعه ٨٠٠ متر. وهذا الجزء المنخفض من الميزيتا يرجع أصله إلى مجموعة بحيرات ترسب فيها تكوينات من الزمن الثالث، وهي التي تكون قاع الحوض الحالي. وإلى الشمال الشرقي من الهضبة تقع جبال البرانس وهي سلاسل التوائية ترجع إلى الزمن الثالث، وتتكون أساساً من الحجر الجيري.

وقبل آخر حركة رفع للميزيتا، تغطت الهضبة برواسب من الزمن الثالث، لا تزال بقاياها في أحواض الهضبة، بينما اختفت من أجزائها المرتفعة بواسطة التعرية وظهرت بالتالي الصخور القديمة. كما نتج عن التعرية في تكوينات الزمن الثالث عدد من الهضيبات المنخفضة ذات القمم المستوية التي يصل ارتفاعها إلى ١٥٠ متر وتعرف هذه الهضيبات بالبراموس Paramos، وهي تمثل

المستوى الأصلي للهضبة. كما أن قيعان الأحواض امتلأت برواسب، فبرزت الهضيبات من بينها ككتل جرفية. كما أن التعرية النهرية قد قطعت الهضبة بوديان أخدودية عميقة أهمها وأدى دورو وتاجه والوادي الكبير.

(٣) في آسيا:

توجد في قارة آسيا عدة هضاب انكسارية شاسعة أهمها هضبة الدكن وهضبة يونان الصينية، كما يشغل أجزاء واسعة من قلب آسيا هضاب جافة وشبه جافة تعزلها الحواشي الجبلية والأراضي الوعرة أهمها هضبة التبت أعلى هضاب العالم. كما يشتمل جنوب غرب آسيا على ثلاث هضاب شهيرة تشغل أكبرها الجزء الأدنى من شبه الجزيرة العربية يليها من حيث المساحة هضبة إيران التي تطوقها الجبال من جميع جهاتها وتمتد من إيران إلى أفغانستان وباكستان وهي هضبة قارية منعزلة، والهضبة الثالثة هي هضبة الأناضول أو هضبة آسيا الصغرى التي تكونت أثناء الحركات الالتوائية الكبرى التي حدثت في الزمن الجيولوجي الثالث.

أ ـ هضبة الدكن.

تنتمي هذه الهضبة إلى الرف الهندي الذي نتج عن تفتق قارة جندوانا. وهي هضبة مثلثة الشكل يحدها شمالاً وديان أنهار تابتي وماهندي، ومرتفعات سابتورا، وهي عبارة عن جذور لالتواء تم فيما قبل الكمبري. وتنتهي الهضبة بانكسار نارباوا. أما الشمال حدها الغربي فينتهي عند نهاية جبال أورالي، وهذه الجهة غير مرتفعة مما أدى إلى حجز الأمطار عنها بواسطة المرتفعات المحيطة بها.

ويحيط بالهضبة إطار من المرتفعات شرقاً وغرباً من نوع الجبال المتوسطة الارتفاع هي الغات الشرقية والغات الغربية. أما داخلها فتشغله الجبال الانعزالية وحواف الكويستات. وقد تعرضت الهضبة للتعرية فترة طويلة في ظروف من المناخ الرطب الحار. وقد كشفت التعرية عن الصخور الأركية في كثير من

المواضع، وتمتاز تلك الصخور بغناها في الحديد والنحاس والذهب. كما أمكن الاستدلال على آثار للتعرية الجليدية على سطحها ترجع إلى العصر الكربوني والبرمي. وقد تبع الحركات التكتونية التي تعرضت لها الهضبة طفح من اللافا غطى مساحات واسعة في شمالها الغربي. وتبلغ مساحة تلك الغطاءات نحوا من نصف مليون كيلومتر مربع، كما يقدر سمكها بنحو ١٠٠٠ إلى ٢٠٠٠ متر، وكان الطفح البركاني يتم على مراحل، لذلك اختلطت طبقات البازلت مع رواسب نهرية، هي من أهم خصائص تلك المنطقة الفريدة من نوعها.

وقد بدأت كتلة الهضبة تتعرض لحركة رفع منذ العصر الطباشيري الأعلى، واستمرت في الارتفاع حتى عصر الأيوسين. وكان الجانب الغربي أكثر ارتفاعاً عن الشرقي، كما أن حركة الرفع كانت تتم على مراحل، فتركت بذلك مدرجات متتالية على السواحل.

وتعد مرتفعات الغات من أهم ملامح الهضبة، وتدين في نشأتها إلى حركة رفع في جوانب الكتلة، ثم عملت فيها التعرية البحرية والهوائية وحولتها إلى إطار جبلي. ويبلغ طول امتداد الغات الغربية حوالى ١٦٠٠ كيلومتر، وقد قطعتها الأنهار التي تصب في المحيط إلى كتل جبلية يتراوح ارتفاعها ما بين ١٠٠٠ و ١٦٠٠ متر. أما الساحل الشرقي والمعروف بساحل كروماندل، فيمتد حوالى ١٠٠٠ كيلومتر، وقد تحولت حافته هو الآخر إلى كتل جبلية منفصلة. وتمتاز الغات الغربية بامتدادها الكبير نحو الجنوب حيث تجد امتدادها في جزيرة سيلان في قمم جبل آدم (٢٢١٣ متر). وتتميز كذلك بأنها تطل على سهل ساحلي ضيق بينما الغات اشرقية تطل على ساحل عريض يصل في بعض المواضع إلى ١٢٠ كيلومتر. ويشير ذلك الساحل إلى حركة رفع تعرض لها منذ الزمن الثالث، ويستدل على ذلك من الإرسابات الدلتاوية للأنهار. وعلى العكس منه تدل الوديان الغارقة على الساحل الغربي على تعرضه لحركة هبوط.

ب ـ هضبة التبت.

وهي أكبر الهضاب بين الجلبية، بل هي أكبر الهضاب المعروفة قاطبة، وأكثرها ارتفاعاً حتى أنه يطلق عليها سقف العالم أو قلب آسيا. وتبلغ مساحتها ٢ مليون كيلومتر مربع تقريباً. وتمتد أكثر من ٣٠ درجة طولية أي ٢٧٥٠ كيلومتر تقريباً من الغرب إلى الشرق، وحوالى ١٣ درجة عرضية، أي ما يقرب من ١٥٠٠ كيلومتر ويزيد متوسط ارتفاعها عن ٤ آلاف متر، بل ترتفع بعض أجزائها إلى أكثر من ٦ آلاف متر فوق مستوى سطح البحر ومن الناحية الجيولوجية تنقسم الهضبة إلى قسمين رئيسيين: الشمالي منها يتكون أساساً من كتل انكسارية، ويحيط به جبال كون لن، أما القسم الجنوبي فيرتبط تكوينه الالتوائي بنشأة جبال الهيمالايا. وتلتقي كل من السلسلتين ـ كون لن والهيمالايا ـ وتكونان الحدود الغربية للهضبة. أما شرق الهضبة فيصعب وضع حد له، بين الهضبة وبين السلاسل الجبلية المنخفضة التي تقع في غرب الصين. ومن الناحية الطبوغرافية العامة تنقسم الهضبة إلى أربعة أقسام:

ـ السهل الشمالي: ومتوسط ارتفاعه ٥ آلاف متر، ويضم مساحات مستوية وبعض الجبال والوديان، كما يضم مئات من الأحواض المقفلة التي تشغلها بحيرات ملحية، يصل اتساع بعضها إلى ١٦٠٠ كيلومتر مربع.

ـ التبت الجنوبية: وتمتد من جانب الهيمالايا الداخلية نحو الشمال. وهي عبارة عن منطقة جبلية، ينبع منها كل من الهندوس والبراهمابوترا، بالقرب من بعضهما ويتجه أحدهما إلى الغرب والآخر نحو الشرق.

ـ شرق التبت: هي أقل ارتفاعاً من القسمين السابقين، ومن أطرافها ينبع أربع أنهار من أكبر أنهار شرق آسيا، وهي سالون، وميكونج ويانجتسي وهوانجهو. وقد قطعت تلك الأنهار هذا الجزء من الهضبة إلى عدد من الوديان والخوانق التي تكاد تسير متوازية.

ـ شمال شرق التبت: وفي هذا القسم تنتهي جبال كون لن انتهاء مفاجئاً إلى إقليم جوني في جنوب السلسلة وإلى حوض تاريم شمالاً. ويتكون هذا القسم من التبت من مجموعة أحواض شاسعة تشغلها بحيرات سطحية وأحواض جافة، ومن أهمها حوض زيدام وحوض كوكونور.

جـ ـ هضبة شبه الجزيرة العربية.

تنتمي شبه الجزيرة العربية جيولوجياً، باستثناء جبال عمان الالتوائية الحديثة والتي تقع في الركن الشرقي، إلى الدرع العربي ـ الإفريقي الذي يمتد من المحيط الهندي جنوباً وينتهي في شمال بادية الشام. وقد انفصل الدرع الإفريقي عن الدرع العربي نتيجة حركة تكتونية عنيفة أدت إلى تكوين البحر الأحمر. وقد تعرض الدرع العربي للتعرية لفترة طويلة أدت إلى تقويض المرتفعات به وملء منخفضاته بالرواسب، وكان من أثر الحركة التكتونية أن ارتفعت حافة الهضبة الانكسارية وانحدرت تدريجياً نحو الشرق، كما أدت الحركة كذلك إلى تعرض الهضبة لطفح بركاني حديث إذ غطيت أجزاء كبيرة من جذور الجبال التحاتية بفراشات من البازلت تعرف بالحرات. وتوجد هذه الظاهرة في وسط شبه الجزيرة وشمالها الغربي.

ويظهر طرف الهضبة الغربي من البحر على هيئة جبال، إلا أنه في جانبه الشرقي ينتهي تدريجياً إلى داخل الهضبة. وهذه المرتفعات من نوع المرتفعات المتوسطة الارتفاع والمنخفضة. وأعلاها يقع اليمن حيث تصل أعلى القمم إلى ٣٧٦٠ متراً. كما أن حافة الهضبة تبدأ بتدرج من الجزر المرجانية والساحل المرجاني إلى ساحل من المستنقعات. يلي السهل الساحلي الضيق مرتفعات الحافة التي تبلغ أقل ارتفاع لها عند دائرة عرض مكة المكرمة.

ويتوسط شبه الجزيرة من الداخل هضبة نجد التي تضم حواف يصل ارتفاعها إلى ١٨٠٠ متراً وهي تقسم الداخل إلى قسمين متمايزين، وإن كان لا يختلفان في الارتفاع (١٠٠٠ متر في المتوسط). القسم الجنوبي ويشغله الربع

الخالي، وهو عبارة عن بحر رمال عظيم بما فيه من كثبان رملية متحركة، بالإضافة إلى مساحات صخرية وأخر ملحية. أما القسم الشمالي، فهو صحراء النفود، ويشتمل على غطاءات رملية وكثبان من نوع البرخان التي يصل ارتفاعها إلى ۱۰۰۰ متر وتظهر على شكل مجموعات كما تضم صحراء النفود مساحات واسعة من الصحاري الصخرية من نمط الحمادة بالإضافة إلى الأشكال الصحراوية الأخرى مثل الميزات Mesaes أو المناضد الصحراوية.

د ـ هضبة الأناضول.

وهي عبارة عن كتلة قديمة تنحصر بين سلاسل التوائية حديثة هي جبال بنطس وطوروس، وجبال أرمينيا التي تحدها شرقاً. أما إلى الغرب فتحدها كتلة ليكوينا، وهي جزء من نظام التواء بحر إيجة، والكتلة الكارية وهي بقايا حاجز جبلي قديم يرجع إلى التواء تم تكوينه في الزمن الأول. وتتألف قاعدة الهضبة من صخور متحولة بالإضافة إلى صخور بركانية. وقد تعرضت كتلتها إلى حركة التوائية في الزمن الأول، ثم ارتفعت مع قيام السلاسل الالتوائية المحيطة أثناء حركة بناء الجبال الألبية. وعند تعرض الجبال المحيطة للحركات الإنكسارية التي أدت إلى نشأة البحار المحيطة بشبه جزيرة آسيا الصغرى، أصاب داخل الهضبة اضطراب في قشرته مما أدى إلى تمزقه وظهور كتل عالية وأخرى منخفضة. إلا أن التعرية النهرية على المرتفعات المحيطة بالهضبة نقلت كميات من الرواسب أغرفت الكتل الصلبة المنخفضة بإرسابات حديثة، بينما تعرضت الكتل الأكثر ارتفاعاً للنحت. وأصبحت الصورة التضاريسية للهضبة بالتالي تتألف من مساحات رسوبية إلى جانب أخرى تحاتية، كما أن الأنهار القصيرة التي تنحدر نحو الداخل حولت الأجزاء المنخفضة من الهضبة إلى أحواض سطحية مثل حوض طورغولو، بالإضافة إلى ذلك فإن الطرف الجنوبي من الهضبة قد تعرض إلى طفح بركاني أثناء الزمن الثالث غطى مساحات واسعة تتميز باستوائها، بينما تبرز من بينها جبال تحاتية مثل إرشياس داغ (١٩٦٦ متر)

وحسن داغ (٣٢٥٣ متر) وجبال ملندين (٢٩٣٥ متر). ومن أهم ملامح الهضبة التضاريسية الأخرى كثرة المنعطفات النهرية في الأجزاء الرسوبية التي تخترقها الأنهار مثل منعطف مندريس Menderes ومنعطف نهر هورموس.

(٤) في أمريكا الشمالية:

يوجد في قارة أمريكا الشمالية نطاق من الهضاب الرسوبية إلى الشرق مباشرة من بجال الروكي، يمتد من مدينة المكسيك جنوباً حتى الحدود الكندية الأمريكية في الشمال لمسافة ٣٢٠٠ كيلومتر وإن انقطع هذا الامتداد ببروز العديد من السلاسل الجبلية الصغيرة، كما يعترض استمراره عدد من الخوانق النهرية السحيقة. وهذا النطاق هو الذي يشتهر كذلك باسم السهول العظمى Great Plains، لأنه كان في الأصل عبارة عن سهول فيضنية تكونت من دلتاوات الوديان التي كانت تنحدر على جوانب الجبال، ثم تعرضت للارتفاع أثناء الحركات التي تعرضت لها جبال الروكي نفسها، ونتيجة لهذا الارتفاع تغيرت مهمة الأنهار التي كونت الدلتاوات الأرضية من عملية الإرساب إلى عملية الحفر وأخذت تعمق وديانها في هذه السهول التي أخذت مظهراً أقرب إلى مظهر الهضاب منه إلى مظهر السهول بسبب الارتفاع وكثرة الخوانق العميقة.

بينما إلى الشمال، وفي داخل كندا، تقع الهضاب فيما بين السلاسل الساحلية وجبال الروكي، وتنقسم إلى ثلاثة أجزاء رئيسية، الجزء الجنوبي منها يدخل ضمن الحوض الأوسط من نهر فريزر Fraser، والجزء الأوسط يحتله الحوض الأعلى لنفس النهر والحوض الأوسط لنهر سكينا Skeena أما الجزء الشمالي فيقع ضمن حدود حوض نهر يوكن Youkon. ونظراً لمناعة الجبال فإن تلك الهضاب تقع في شبه عزلة تامة. وفي الجنوب تقفل هضبة المكسيك جبال من الشرق والغرب والجنوب.

ومن الهضاب المشهورة في أمريكا الشمالية هضبة ميسوري وهضبة كولومبيا وهضبة كولورادو. وهضبة ميسسوري هضبة عظيمة الاتساع تشغل

سطح الولايات الواقعة إلى الشمال من نهر بلات Platte River، أما هضبة كولومبيا فهي من الهضاب البركانية الكبرى، وتشغل مساحة شاسعة في ولايات واشنطن وأوريجون وإيداهو، ويزيد سمك اللافا التي كونتها عن ألف متر، وقد غطت هذه اللافا كل مظاهر التضاريس الأصلية تحتها، ولكن على الرغم من أن كل هذه المنطقة يطلق عليها لفظ هضبة إلا أن مناطق واسعة منها لا ينطبق عليها هذا الوصف، لأنها تعرضت للانثناء فأصبحت أقرب إلى الجبال منها إلى الهضاب. والأخاديد التي تقطع هذه الهضبة أقل من الأخاديد التي تقطع الهضاب المعتادة، لأن سطحها لم يتقطع بعد تقطيعاً كافياً، ومع ذلك فإن نهر كولومبيا ونهر سنيك وروافدهما قطعت فيها ودياناً شديدة العمق. وهناك أيضاً هضبة كولورادو، وهي هضبة مكونة من طبقات رسوبية سميكة ترتكز على قاعدة بلورية، ويعتبر خانق كولورادو أهم ظاهرة فيزيوغرافية فيها، وخصوصاً في قسمة الموجود في أريزونا، حيث يشتهل هنا باسم خانق كولورادو العظيم Grand Ganyon of the Colorado River. وهو خانق ضيق جوانبه قائمة. ونهر كولورادو نفسه نهر ذو صرف داخلي وتغذيه عدة روافد لكل منها واد عميق يتناسب عمقه مع حجمه، والهضبة نفسها مكونة من طبقات رسوبية يزيد سمكها على ألف متر، وهي ترتكز على قاعدة من الصخور البلورية الصلبة. وقد استطاع نهر كولورادو أن يشق مجراه إلى عمق يبلغ في بعض الأماكن ١٥٠٠ متر في طبقات الصخور الرسوبية والصخور البلورية التي تحتها.

ولا توجد هضاب كثيرة في المناطق الرطبة من أمريكا الشمالية، وهي ظاهرة تشترك فيها كل القارات تقريباً، وأهم الهضاب الموجودة في هذه المناطق هي هضبة كمبرلاند Cumberland التي تشمل بعض الأجزاء الغربية من الأبلاش في مقاطعتي كنتكي وتينيسي، وبعض الأجزاء الصغيرة في شمال بنسلفانيا. وقد ساعد على بقاء هذه المناطق الهضبية أن الطبقة السطحية من صخورها شديدة الصلابة.

(٥) في أمريكا الجنوبية:

تمتزج بعض الهضاب في أمريكا الجنوبية بالأراضي الجبلية كما هي الحال في الهضاب الآسيوية، بينما يحتل بعضها الآخر بقاع خالصة له على غرار هضاب إفريقيا. وتتمثل الهضاب بالقارة في منطقتين رئيسيتين هما جنوب البرازيل في الشمال وباتاجونيا في الجنوب. فبالبرازيل تمتد الهضاب من الحوض الأدنى للأمزون حتى الحدود الجنوبية للبرازيل، وتستمر حتى أواسط أوروجواي، فغالبية نصف المساحة المثلثة مما يطلق عليه عادة اسم مرتفعات البرازيل هو في الحقيقة هضاب ترتفع من الشمال والغرب تجاه الجنوب والشرق. وتتكون الهضاب هنا من صخور رملية وغطاءات من اللافا، وترتكز كلها على صخور بللورية قديمة، وهي مقطعة بواسطة روافد نهر الأمزون ونهر البارانا.

وتمثل هضبة بتاجونيا نموذجاً حقيقياً لهذا النوع من التضاريس الهضبية، وتمتد فيما بين جبال الانديز في الغرب ومياه المحيط الأطلسي في الشرق، وقد تكونت هذه الهضبة بنفس الطريقة التي تكونت بها هضبة ميسورى في أمريكا الشمالية، حيث أنها كانت في بداية الأمر سهلاً رسوبياً مكوناً بين دلتاوات جافة عند حضيض الجبال، ثم تعرضت لحركة رفع كبيرة بسبب الحركات الأرضية فتحولت مهمة الأنهار من الإرساب إلى النحت فقطعت لنفسها ودياناً عميقة في سطحها.

أما بقية هضاب أمريكا الجنوبية فتقع في أحضان جبال الأنديز، وهي في المعتاد صغيرة المساحة، وتكثر فيما بين وسط كولومبيا وشمال شيلي والأرجنتين. وتعد هضبة بوليفيا أكبر وأعلى هذه الهضاب قاطبة.

(٦) في أستراليا:

تتصف قارة أستراليا بأن معظم أراضيها عبارة عن هضبة خالصة على غرار

قارة إفريقيا. ومعظم هذه الهضبة أقليم صحراوي حار يمتد فيما وراء ساحل المحيط الهندي حتى وسط القارة، ومن الخليج الأسترالي العظيم حتى قرب السواحل الشمالية، وتعرف هذه الهضبة باسم هضبة غرب أستراليا. وهي تنتمي إلى الدرع الأسترالي الذي نتج عن تفتق قارة جندوانا وتزحزح إلى أقصى الشرق. وهي تشبه هضبة الدكن وهضبة جنوب إفريقيا في تقعر طبقاتها نحو الداخل وارتفاعها من حوافها في الشرق والغرب. ويبلغ متوسط ارتفاعها ما بين ٢٠٠ إلى ٣٠٠ متر. وتمثل في مجموعها سهلاً تحاتياً تتخلله جبال قبابية منعزلة ومناضد صحراوية، تحولت عن هضبة تحاتية عملت فيها التعرية بعمق، حتى برزت صخور الزمن الأول على السطح. إلا أنه يغطيها غطاء بسيط من مفتتات التجوية من نمط الأقاليم الحارة الجافة.

وأعلى أجزاء الهضبة هي جبال مسجريف (١٥٩٤ متر) التي تمتد غرباً وشرقاً، وجبال مكدونالد (١٤٦٠ متر). وتقع تلك الجبال في وسط الهضبة. وتتكون من صخور صلبة قطعتها التعرية بشدة فأنشأت فيها عدداً من الوديان والخوانق. كما يميز الهضبة عدد من الجبال الانعزالية من نمط المونادنوك ومسلات صحراوية وغيرها من الأشكال الصحراوية الناتجة عن النحت، بالإضافة إلى الصحاري الصخرية التي تعرف محلياً باسم Giber، والأحواض الملحية.

الفصل الثاني عشر

السهول

السهول

السهول هي مساحات فسيحة من الأراضي المستوية التي لا تعلو كثيراً عن مستوى سطح البحر والتي لا توجد بها أراضي شديدة الانحدار أو مرتفعات كثيرة تغير من مظهرها السهلي العام. ومعنى ذلك أنه لا يشترط أن يكون السهل تام الاستواء، ولكنه يشترط أن تكون كل منحدراته هينة بحيث لا تتجاوز عدة درجات (٤ درجات على الأكثر). والسهول وإن اشتركت في تلك الخصائص العامة من حيث الاستواء وهوادة السطح، إلا أنها تتباين فيما بينها تبايناً شديداً، فمن حيث ارتفاعها العام عن سطح البحر نجد أن بعضها لا يعلو كثيراً عن، أو يكاد يكون في مستوى سطح البحر، بينما قد يصل ارتفاع بعضها إلى بضعة مئات من الأمتار فوقه، كما هي الحال في السهول المحصورة بين سلاسل الجبال الكبرى. ومن حيث درجة الاستواء فإن بعض السهول يكاد يكون تام الاستواء بينما يكون بعضها الآخر كثير المنخفضات والتلال والوديان، كما هي الحال بالنسبة لما يعرف باسم «أشباه السهول Peneplains»، وبينما يكون السطح في بعض السهول مموجاً قاحلاً جافاً فإنه يكون في بعضها الآخر كثير المستنقعات والبحيرات، وبينما يكون السطح في بعض السهول مغطى بمواد رسوبية مفككة، سواء أكانت ناعمة مثل الصلصال أو الطين أو الملح، أو خشنة مثل الرمال والحصى فإن بعضها الآخر يكون صخرياً عارياً، أو مغطى بكساء جليدي دائم، كما هي الحال في سهول المناطق القطبية.

ويرجع استواء أسطح السهول إلى ثلاثة عوامل هي: عمليات التعرية التي قد تؤدي إلى تسوية مساحات واسعة من الأرض وخفض مناسيبها بإزالة ما كان

بها من معالم بارزة مضرسة، أو قد تؤدي إلى ملء الفجوات وردمها بمواد إرسابية تجلبها من مناطق أخرى فيظهر السطح منتظماً وقليل التباين في المناسيب. وقد يكون استواء ناجماً عن استقرار قشرة الأرض وعدم تعرضها لحركات تكتونية، على الأقل أثناء الأزمنة الجيولوجية المتأخرة، إذ أن حركات الرفع يتبعها عادة تقطع الكتل المرتفعة بفعل الأودية النهرية، مما يبعدها بالتالي عن شكل السطوح السهلية المستوية. وقد يكون من بين أسباب استواء أرض السهول حداثة العهد لحركات الرفع بحيث لم تتوفر بعد فترة زمنية كافية تقوم فيها الأنهار بعملها في تغيير شكل سطح الأرض.

تصنيف السهول

يمكن تصنيف السهول على أساس أصول نشأتها، إذ تنشأ بفعل عوامل متعددة ومتباينة، ومن النادر أن توجد سهول ذات مساحة كبيرة ترجع طبوغرافيتها إلى عامل واحد. ولكن الغالب أن تتضافر القوى المختلفة التي تعمل على تشكيل القشرة الأرضية في قيام السهل. وتدين السهول في نشإتها الأولى ـ شأنها شأن بقية عناصر سطح الأرض إلى العامل التكتوني. ومعظم السهول العظمى تعتبر سهولاً تكتونية في أصلها Diastrophic plains، وقد ارتفعت منذ زمن طويل بفعل الحركات الباطنية وكذلك السهول التي تمثل هامشاً قارياً، وهذه قد تكون قد ارتفعت منذ زمن حديث نسبياً. وبعض السهول يتكون نتيجة لعمليات النحت فإن بعضها الآخر يتكون نتيجة لعمليات الإرساب. وقد تتدخل حركات القشرة الأرضية كذلك في تكوين بعض السهول أو تطورها. ولذلك فإن هناك أنواعاً متعددة من السهول، ومن أهمها ما يأتي: ـ

أولاً: السهول التحاتية

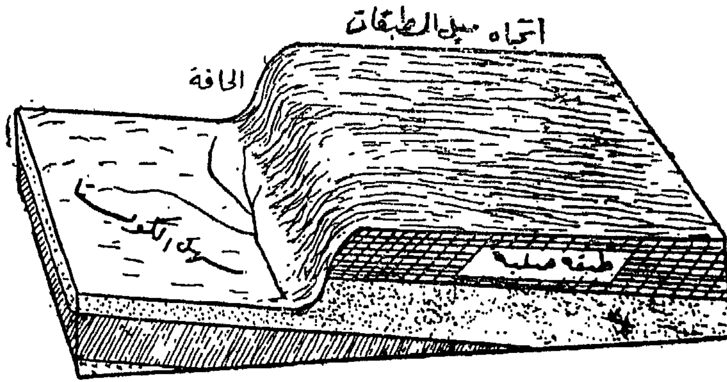
وهي سهول تكونت في مجموعها نتيجة فعل المياه الجارية فوق السطح، أو ترجع لفعل الأمواج بالجهات الساحلية، أو نتيجة نحت أغطية الجليد وألسنتة، أو نتيجة نحت الطبقات الصخرية الصلبية المائلة، أو نتيجة لعمليات

النحت التي تقوم بها المياه الباطنية في مناطق التكوينات الجيرية.

وتنشأ سهول النحت المائي نتيجة لفعل الأنهار التي تشق وديانها وتعمل على توسيعها عن طريق النحت الجانبي، وهي تعرف بالسهول التحاتية الكبيرة التي تمثل المرحلة الأخيرة من مراحل النحت المائي في المناطق الجبلية. وقلما يوجد سهل في العالم لم يتأثر بالتعرية المائية، لأن هذا العامل من عوامل التعرية ينتشر انتشاراً واسعاً حتى في المناطق الجافة، ولكنه لا يوجد مستقلاً بل تتداخل معه التعرية الهوائية أو التعرية الجليدية. ويتوقف تأثير التعرية المائية على حجم المجاري النهرية التي تقطع السهل وعلى كمية ما يحمله من مياه ورواسب، كما يتوقف على المرحلة التي تمر بها هذه التعرية. وفي المناطق الجافة تؤدي التعرية المائية إلى نشأة نوع من السهول يعرف بسهول أقدام الجبال Pedi plains وهي عبارة عن سهول تحاتية تتكون بجوار قاعدة الجبال مباشرة ويكون سطحها صخرياً أملساً ومقوساً تقوساً خفيفاً مع انحدار بطيء إلى الخارج، وقد يتغطى سطحها بطبقة رقيقة من الرواسب التي قد تبقى فوقها، وتتسع هذه السهول باستمرار على حساب الجبال المجاورة لها. وتوجد أمثلة لهذه السهول في مناطق كثيرة من العالم مثل المناطق الصحراوية المحيطة بسلاسل الجبال في أمريكا الشمالية وفي شمال شيلي وجنوب غرب إفريقيا وبعض أجزاء الصحراء الكبرى بل ومعظم المناطق الصحراوية التي كانت في الماضي مناطق جبلية.

ونتيجة لفعل التعرية المائية يتحول السهل التكتوني إلى مجموعة الحافات Escarpments وتعرف السهول الناتجة عن ذلك بسهول الكويستات Cuesta Plains (شكل رقم: ١ ـ ١٢) التي تتكون أمام هذه الحافات نتيجة لتآكلها وتراجعها بسبب زيادة فعل وتأثير عمليات التعرية المائية عليها. ومن أمثلتها سهول وسط غرب الولايات المتحدة، وجنوب شرق انجلترا، ومنطقة حافات سوابين في جنوب ألمانيا وحوض باريس الذي يعد من أوضح أمثلة سهول الكويستا، فقد تكون هذا الحوض من سلسلة من السهول التي تكونت أمام ست

من الكويستات التي ما ازلت ظاهرة من حوله، على الرغم من أنها تقطعت تقطعاً شديداً بواسطة كثير من المجاري النهرية.



(شكل رقم: ١ ـ ١٢) سهل الكويستا

وتنشأ السهول كذلك بفعل نحت الغطاءات الجليدية المعروفة بالجليد القاري والتي تزيد النتوءات التضاريسية عند حركتها. وتتميز هذه السهول بالتماوج وكثرة الطفل الحصوي Boulder clay الذي يخلفه الغطاء الجليدي بعد ذوبانه. وتوجد سهول النحت الجليدي بصفة خاصة في المناطق التي كان الجليد يتوزع منها في عصر الجليد، وهي سهول فنلندة والسويد في أوروبا والسهول اللورنسية المرتفعة في كندا. وسهول فنلندة والسويد والبحر البلطي في أوروبا.

كما تنشأ السهول نتيجة النقل بواسطة الرياح التي تحمل معها ذرات الرمال الدقيقة مختلفة مساحات صخرية، أو حصوية من نوع السرير. وتنتشر هذه السهول الصحراوية Pediplains في الأقاليم الجافة وشبه الجافة في صحراء إفريقيا وغرب أستراليا وأريزونا.

وتتكون السهول البحرية بعل الأمواج وارتطامها المستمر في الصخور

الشاطئية وينتج عن ذلك الارتطام تآكل الصخور وتراجع الشاطىء أمام مياه البحر ويكوين ما يعرف بمدرج الأمواج. ويظل هذا المدرج تحت مياه البحر حتى تتأثر المنطقة الساحلية بحركات قشرة الأرض وترتفع إلى أعلى وتكون ما يعرف بالسهل الساحلي. وأكثر ما تمتاز به هذه السهول أنها ضيقة جداً وأن أغلبها يتألف من أراضي صخرية.

وينتج عن ذوبان الصخور في المياه، وخصوصاً المياه الباطنية، نوع من السهول يعرف بالسهول الكارستية Karst Plains والتي تنتشر في مختلف القارات، ولكن أغلبها يكون صغير المساحة. ويتميز سطح السهول الكارستية بأنه أكثر تعقيداً من السهول التي تتكون بفعل المياه الجارية السطحية والتي يكون سطحها مستوياً، إذ تنشأ بالسهل الكارستي كثيرة من الظاهرات نتيجة لذوبان الصخور الجيرية في الماء والتي من أهمها الحفر الوعائيية Sinkholes ذات الأحجام المختلفة، والمرتفعات التي تنتشر بغير نظام معين ولا تكون لها أشكال أو أحجام محددة. وتنتشر تحت السطح نفسه كثير من الكهوف والسراديب والأنهار السفلية التي لا يظهر لها بدايات ولا نهايات واضحة. والعامل الأساسي في تكوين كل هذه الظاهرات هو ذوبان الصخور الجيرية في المياه الباطنية، وفي بعض المياه السطحية. والمناطق التي توجد فيها السهول الكارستية كثيرة في العالم، وأشهرها هي المنطقة التي درست فيها الظاهرات الكارستية لأول مرة، والتي أخذت منها اسمها، وهي منطقة «كارست» على ساحل البحر الأدرياتي في يوغوسلافيا، وتوجد غيرها مناطق أخرى كثيرة من نفس النوع في العام، ومن بينها في العالم العربي بعض أجزاء جبال لبنان، وبعض أجزاء شمال برقة في ليبيا وبعض أجزاء المغرب العربي. كما توجد سهول من نفس النوع في أقصى جنوب إيطاليا وهي عبارة عن سهول صغيرة وسط الجبال، وفي أمريكا الشمالية توجد أمثلة لهذه السهول حول خليج المكسيك وفي وسط شبه جزيرة فلوريدا وغيرها.

ثانياً: السهول الإرسابية

تتميز هذه السهول جميعها بأنها سهول بناء شيدت من الرواسب التي جلبتها عوامل التعرية من مناطق بعيدة لتضعها فوق أسطح أراض منخفضة، أو قيعان خلجان أو مياه شاطئية قليلة العمق وقد ظلت هذه الرواسب تنمو وترتفع بمناطق إرسابها حتى علت وظهرت كسهول فوق سطح الماء، ومن ثم فقد يطلق عليها اسم «سهول التوضع». ويمكن تصنيفها حسب عامل الترسيب الذي أدى إلى قيامها. فهناك سهول رواسب المياه الجارية Alluvial Plains على السطح وأهمها السهول الفيضية، وهذه قام بتكوينها أنهار عظمى، وسهول الدالات، وسهول الباجادا (أو البهادا) التي تتكون في حضيض الجبال أو عند أقدام المرتفعات نتيجة لاتصال المراوح الفيضية التي تكونها رواسب الوديان الجبلية في الأقاليم الجافة، وشبه الجافة وسهول البلايا Playa التي تتكون في الأحواض الداخلية اليت تنتهي إليها المياه المنحدرة من الجبال في الأقاليم الجافة. كذلك من أنواع السهول الإرسابية سهول الإرساب البحري التي تتكون بتراكم الزواسب البحرية في المياه القليلة العمق ثم تظهر بعد ذلك فوق سطح البحر نتيجة لارتقاع قشرة الأرض. ومنها أيضاً سهول الإرساب الجليدي التي تتكون من الركامات الجليدية بمختلف أشكالها وسهول الإرساب الهوائي وأهمها السهول الرملية وسهول اللويس Loess.

وتتكون السهول الفيضية Flood Plains نتيجة للترسيب في وادي النهر، ويختلف سمك الطبقات التي تتكون نتيجة لهذا الترسيب من بضع سنتيمترات إلى بضع مئات من الأمتار فوق القاعدة الصخرية، ففي حوض نهر المسيسبي مثلاً يبلغ سمك طبقات السهل الفيضي أكثر من ٣٥ متراً، بل إنه يصل إلى أكثر من ١٣٠ متراً عند مصبه، وقد يزيد عن ذلك في وديان بعض الأنهار الأخرى. وأوضح صفة من صفات السهل الفيضي هي استواء سطحه، ومع ذلك فإن هناك بعض المظاهر التي قد تميز بعض السهول عن بعضها الآخر. ومن المظاهر

الشائعة في السهول الفيضية وجود المجاري المائية النشطة والمجاري المائية المتروكة والجسور الرسوبية الطبيعية Levees حول المجاري المائية النشطة والمجاري المتروكة، ووجود مساحات واسعة مستوية بين المجاري المائية وخلف الجسور.

وتختلف سهول الدالات عن السهول الفيضية من حيث ظروف نشأة كل منهما. فبينما تتكون السهول الفيضية نتيجة للإرساب على اليابس فإن سهول الدالات تتكون نتيجة للإرساب في منطقة بحرية ضحلة مياهها هادئة. ومع ذلك فإنهما يتشابهان في مظاهر سطحهما عند اكتمال تكوينهما بحيث يكون من الصعب وضع حد فاصل بينهما في منطقة التقائهما. وتبدأ الدلتا في التكون بمجرد أن يبدأ النهر في إلقاء رواسبه عندما يقابل المياه الضحلة التي يصب فيها، سواء أكانت مياه بحر أو بحيرة. وكلما نمت الدلتا وارتفع سحطها كلما أبطأ جريان الماء في الفروع النهرية التي تخترقها، ونتيجة لذلك يزداد الإرساب عند بداية هذه الفروع بل ويأخذ الإرساب في التراجع نحو الوادي نفسه، وهنا تتداخل الدلتا في السهل الفيضي فلا يظهر أي حد فاصل بينهما. ودلتا النيل هي أشهر دلتا معروفة منذ التاريخ القديم. وهي أول دلتا أطلقت عليها هذه التسمية بواسطة اليونانيين القدماء. وقد كانت لها أدوار هامة في كل العهود الحضارية منذ الفراعنة. وتوجد غيرها مئات الدلتاوات في العالم. ومن أشهرها دلتاوات أنهار الرون والبو والفلجا والسند والكنج والإبراوادي والهوانج والأورينوكو والكولورادو والمسيسبي والنيجر والزمبيزي.

وتنشأ سهول المراوح الفيضية أو الدالات الجافة في نهاية الأنهار الفصلية (الأخوار) ومجاري السيول التي تنتهي على اليابس. وهي كثيرة الوجود في الأقاليم الجافة التي لا تجري المياه في كثير من أنهارها إلا في موسم المطر، ولا تستطيع أن تصل إلى بحر أو بحيرة أو نهر كبير. ففي هذه الجالة تتجمع الرواسب عند نهاياتها بشكل دالات تكون رواسبها خشنة عند رأسها، وتتناقص خشونتها كلما بعدنا عن نهاية الوادي. ومن أشهر السهول التي من هذه النوع

السهل الذي يتكون من دلتا خور الجاش، والذي نشأت عليه مدينة كسلا في شرق السودان.

وكثيراً ما تتكون حول جبال الأقاليم الجافة سلاسل من هذه الدالات أو المراوح الفيضية وكلما زادت أحجامها اقتربت من بعضها حتى تتلاحم وتكون سهلاً رسوبياً واحداً يعرف في كثير من المناطق باسم «الباجادا» أو «الباهادا». وقد يطلق عليه اسم «سهل حضيض الجبال»، وهو يكون مفصولاً عن قاعدة الجبال نفسها بواسطة السهل التحاتي المعروف باسم «سهل قدم الجبال Pediplain»، ومن الطبيعي أن تكون رواسب سهل الحضيضص (الباجادا) خشنة في أجزائه الأقرب إلى الجبال، وهي الأجزاء التي تمثل رؤوس الدالات التي كونته، ثم تتناقص أحجامها كلما ابتعدت عنها، كما أن منسوب سطحها ينخفض تدريجياً في نفس الاتجاه. ومثال ذلك السهول التي توجد في وديان ساكرامنتو وسان جواكين San Joaquin في كاليفورنيا، والسهول الموجودة في وادي شيلي بأمريكا الجنوبية وفي منطقة سمرقند في التركستان الروسية.

أما سهول أحواض التصريف الداخلي فتتكون عادة في المناطق الجافة وشبه الجافة بالقرب من مناطق الباجادا، حيث تنصرف المياه المنحدرة في بعض الوديان إلى منخفضات داخلية فتتراكم الرواسب التي تحملها هذه الوديان على قاع المنخفضات وتتكون منها سهول مكونة غالباً من رواسب طينية ناعمة، وتتجمع المياه في أعمق أجزاء المنخفضات لتتكون منها بحيرات يتوقف حجمها على كمية المياه. ولكن التبخر المستمر مع انقطاع المياه يؤدي إلى جفاف كثير من هذه البحيرات فتتخلف في مكانها مسطحات من التربة المالحة. والبحيرات التي تجف بهذا الشكل هي التي يطلق عليها في أمريكا اسم بلايا Playa. ولكن بعض هذه البحيرات عبارة عن بحيرات مستديمة، وقد يكون بعضها كبراً بدرجة تجعله أقرب إلى البحار. ولتكوين مثل هذه البحيرات يجب أن تكون المياه الواصلة إليها معادلة على الأقل لمجموع المياه التي تضيع منها بالتبخر والتي

تتسرب منها في الصخور. ومياه أغلب هذه البحيرات تكون مالحة، كما أن تربة السهول الطينية الممتدة حولها تكون هي الأخرى مرتفعة الملوحة. وتوجد في مختلف جهات العالم مئات من البحيرات المالحة الصغيرة التي من هذا النوع، أما البحيرات والبحار الداخلية الكبيرة فعددها محدود ومن أمثلتها البحيرة المالحة العظمى Great Salt Lake في ولاية يوتاه بشمال أمريكا الشمالية، وبحر آرال وبحر قزوين اللذين توجد حولهما سهول التركستان الروسية الواسعة، ثم بحيرة تشاد في إفريقية، ومن أمثلة البحيرات الضحلة التي جف معظمها وتحولت إلى مسطحات مالحة بحيراة آير Eyre في جنوب أستراليا والبحيرات التي توجد في بعض أجزاء إقليم كلهاري في جنوب إفريقيا.

ويضاف إلى ذلك السهول الناتجة عن الإرساب البحري على طول الجهات الساحلية المنخفضة حيث تتجمع الرمال والطين والمواد الرسوبية النهرية والمواد النباتية. وتعرف هذه السهول بأسطح المد tidal flats. وتقع تلك الأسطح على هوامش الدلتاوات أو الضفاف الخليجية وكما هي الحال في سواحل هولندا والدانمرك وألمانيا ورأس خليج الأدرياتيك وساحل شط العرب. ويساعد على نشأة هذه السهول حركة رفع الساحل. وخير مثال على السواحل المرفوعة السهل الممتد على ساحل المحيط الأطلسي بالولايات المتحدة، وهو يتكون من رواسب حملتها الأنهار من اليابس وألقت بها في المياه القليلة العمق، حيث قامت الأمواج والتيارات البحرية بفرشها على مساحة واسعة من القاع، وبعد ذلك تعرض القاع للنهوض فانحسرت المياه عن جانبه الساحلي، ويبرز قسم من السطح الرسوبي المستوي كأرض جافة، أضيفت إلى جسم القارة، وامتدت بها مصبات الأنهار التي كانت تجري باليابس القديم من قبل.

وثمة أصناف أخرى من سهول الإرساب الهوائي وسهول الإرساب الجليدي، فالتعرية الهوائية هي المسؤولة عن كثير من الأشكال التي تنشأ من تراكم الرمال وأهمها الكثبان الرملية بمختلف أنواعها، سواء في ذلك الكثبان المتحركة أو الكثبان التي تماسكت رمالها وتكونت منها تلال رملية ثابتة. ومن

أهم السهول التي تدين في نشأتها إلى فعل الرياح سهول اللويس Loess. وهي سهول مكونة من تربة اللويس المشهورة، التي تتكون من أتربة ناعمة جداً نقلتها الرياح من المناطق التي توجد فيها حالياً، وقد كانت كميات الأتربة المنقولة كبيرة جداً بدرجة أدت إلى تكوين طبقات من هذه التربة يزيد سمكها في بعض المناطق على مائة متر. ولكن يلاحظ أنه لا يشترط أن تكون كل مناطق اللويس سهولاً، لأن الأتربة التي نقلتها الرياح كانت ترسب على السهول وعلى الجبال والهضاب على حد سواء، فكانت لذلك تأخذ شكل المنطقة التي أرسبت فوقها. ومن أكبر سهول اللويس في العالم سهل البمبا في الأرجنتين. ومن المرجح أن الأتربة التي يتكون منها قد نقلت إليه بواسطة الرياح من منحدرات جبال الأنديز في الغرب، وفي أواسط الولايات المتحدة يغطي اللويس كذلك مساحات واسعة، كما تشتهر الصين بتكوينات اللويس السميكة التي تغطي مساحات شاسعة في شمالها الغربي. ولكن مناطق اللويس هنا لا تظهر بشكل سهول بمعنى الكلمة، لأن الأتربة التي وصلت إلى هذه المناطق من السهول الجافة في أواسط آسيا وغربها قد تراكمت فوق أراض كثيرة التلال، فبقي سطحها معقداً، ثم ازداد تعقيده بفعل التعرية المائية. ومن هذه المنطقة يحمل نهر هوانج (أو النهر الأصفر) الرواسب الصفراء الكثيرة التي أخذ منها اسمه، والتي تكونت منها السهول في منطقة دلتاه.

وتوجد سهول الإرساب الجليدي في المناطق التي كان الجليد يزحف نحوها والتي كان يلقي فيها بإرساباته المتنوعة بعد انصهاره. وأهم ما يميز مناطقها هو أنها مكونة من صخور رسوبية وأنها مغطاة بإرسابات جليدية مختلفة، كما أنها تتميز بالتماوج أي أنها ليست سهولاً تامة الاستواء ولكنها تضم غالباً بعض التلال وصفوف الركامات المختلفة والمنخفضات بالإضافة إلى مجموعات كبيرة من الكثبان الجليدية Ducmlins وكثير من الصخور الضالة. وخير مثال لهذا النوع من السهول تلك التي تمثل أراضي الهيث Heathland في غرب أوروبا، وكما هي الحال في سهل وسط أمريكا الشمالية جنوب متشجن،

فالأراضي السهلية في تلك الأجزاء ترجع إلى إرساب مواد هائلة من الركامات التي جلبتها ألسنة الجليد وغطاءاته من الشمال، وتتألف أسطحها من الجلاميد والحصى والرمال والطين في خليط غير متجانس، وقد طمرت هذه الإرسابات السطح بأكمله فأضاعت ما كان به من ملامح بارزة أو غائرة من قبل، وأقامت فوقها أشرطة من الأسطح الطينية والتلال الحصوية التي تتناوب في أشرطة متعرجة.

التوزيع الجغرافي للسهول

تصعب دراسة السهول دراسة تفصيلية على أساس نشأتها وتكوينها، وذلك لأن السهول في العادة، تجمع في صفاتها الخصائص التي تميز بين نوعين أو أكثر من الأنواع التي سبق ذكرها، وهذا ما يدعونا إلى دراستها من ناحية توزيعها الجغرافي.

(١) في إفريقيا:

تعد قارة إفريقيا أقل القارات حظاً في امتلاك السهول، إذ أن شطراً زهيداً للغاية من مساحتها تشغله أراض سهلية. فكما ذكرنا، تعد القارة في معظمها قارة هضبة كبيرة، يسود فيها العديد من المنخفضات الصغرى في الداخل، وتطوقها أشرطة ساحلية منخفضة. وأشهر هذه المنخفضات حوض الكونغو الذي هو عبارة عن سهل واسع مستدير تطوقه هضاب عالية من كل جانب، ويناظر في موقعه وظروفه المناخية والنباتية سهول الأمزون بأمريكا الجنوبية، وإلى الشمال منه يوجد منخَفض تشاد بسهوله الصحراوية، وكذلك منخفضات موريتانيا الشاسعة التي تمتد من قلب الصحراء الكبرى غرباً لتتصل بالسهول الساحلية لغرب القارة.

وتتخذ بقية السهول الإفريقية شكلاً شريطياً واضحاً خاصة على السواحل الغربية للقارة والتي تمتد منها ألسنة لمسافات متباينة نحو الداخل، بعضها أراضي صحراوية كجنوب تونس وجنوب غرب إفريقيا والصومال وبعضها الآخر

مداري حار رطب كدلتا النيجر. ولكن أهمها على الإطلاق الشريط السهلي الفيضي الضيق الذي يعبر مساحات واسعة من الصحراء على جانبي وادي نهر النيل.

(٢) في أوروبا:

تشغل الأراضي السهلية مساحة واسعة في قارة أوروباد ممثلة في الأراضي الواسعة التي يشغلها السهل الأوسط في هذه القارة وهي تمتد من المنطقة الشرقية من إنجلترا في الغرب حتى جبال أورال في الشرق، وتبدأ من سواحل المحيط المتجمد الشمالي في الشمال وتنتهي عند حضيض المرتفعات الوسطى في الجنوب، ويدخل في هذه الجهات الجهات الغارقة التي يشغلها بحر الشمال والبحر البلطي. وتنقسم أراضي هذا السهل إلى قسمين كبيرين هما: ـ

أ ـ **القسم الغربي**: ويشغل المساحة التي تمتد من نهر نيمن Niemen في الشرق حتى المنطقة الشرقية من إنجلترا في الغرب. وتغطيه رواسب حديثة ترجع إلى عصر البليوستوسين. وتتألف هذه الرواسب من تكوينات متنوعة بعضها من الغرين الذي جلبته الأنهار وبعضها من الرمال التي حملتها الرياح وبعضها من الرواسب الجليدية التي بسطتها الغطاءات الجليدية فوق سطح الأرض عند تقهقرها الأخير في العصر الجليدي وبعضها من الرواسب النباتية (Peat).

ب ـ **القسم الشرقي**: ويقع إلى الشرق من القسم السابق ويشغل مساحة واسعة في شرق أوروبا. وهو يختلف عن القسم السابق في كثير من الوجوه منها أن رواسبه قديمة وتتألف من تكوينات متنوعة تنتمي للأزمنة الجيولوجية الأول والثاني والثالث وأنها في جهات كثيرة من السهل تغطي بطبقة رقيقة من الرواسب الجليدية الحديثة وبعض تكوينات اللويس ورمال الأستبس ويطلق على القسم الغربي من السهل الأوسط سهول ألمانيا والأراضي المنخفضة ويطلق على القسم الشرقي السهل الروسي.

والسهل الروسي هو أكبر السهول الأوروبية والذي يبدأ من منطقة البحر الأسود وبحر قزوين غير القارة شمالاً حتى المحيط المتجمد الشمالي. وهو عبارة عن مساحات واسعة من الأراضي المنبسطة قلما يصادف الإنسان فيها أرضاً مرتفعة. ويضيق السهل الروسي غرباً تجاه المحيط الأطلسي، حيث يطوق جزء منه سواحل البحر البلطي، ويمتد طرفه الغربي القصى عبر شمال ألمانيا والدانمرك والأراضي المنخفضة وغرب فرنسا حتى قواعد جبال البرانس، هذا الانفتاح على البحر واختفاء الأراضي المرتفعة ييسر دخول المناخ البحري الملطف إلى داخل القارة، فيكسبها اعتدالاً ورطوبة. وتدل الخرائط الجيولوجية لمنطقة السهل الروسي على أنه يتألف من رواسب مختلفة تنتمي للزمنين الأول والثاني تغطيها في الشمال وفي الوسط رواسب جليدية تنتمي لعصر البليوستوسين ويغطيها في الجنوب وفي الشرق رواسب حديثة.

وترتكز هذه الرواسب جميعاً على قاعدة من الصخور النارية والمتحولة هي التي يتألف منها الرصيف الروسي، ونظراً لصلابة هذا الرصيف ومقاومته الشديدة لحركات قشرة الأرض التي تأثرت بها أغلب جهات العالم فقد بقيت الرواسب التي تغطيه محافظة على شكلها الأفقي طوال الأزمنة الجيولوجية التي مرت المنطقة بها.

فيما عدا ذلك تتمتع الكثير من أقطار القارة بمناطق محدودة من السهول تناسب مساحة كل منها، أبرزها سهل البو بشمال إيطاليا، وسهول حوض الدانوب الأوسط بالمجر ويوغسلافيا ورومانيا، ومنها كذلك سهل الرون في فرنسا، وسهول الأندلس في جنوب إسبانيا، هذا فضلاً عن جيوب سهلية صغرى فيما بين مياه البحار الجنوبية والتلال الداخلية بكل من إيطاليات واليونان.

(٣) في آسيـا:

يوجد في قارة آسيا واحداً من أكبر السهول مساحة تترامى أطرافه ما بين منخفض بحر قزوين ومياه المحيط المتجمد الشمالي، أي ما يماثل عرض

أراضي الولايات المتحدة الأمريكية عبر أعرض أرجائها من الغرب إلى الشرق. غير أن هذا السهل الآسيوي يتفاوت كثيراً في اتساعه وسعته من منطقة لأخرى. إذ يبلغ أقصى عرض له في غرب سيبيريا، ولكنه يضيق نسبياً أينما امتدت إلى قلبه ألسنة من السلاسل الجبلية ومرتفعات وسط القارة من الجنوب من الشرق. ويوجد على طرفيه نوعان من الصحاري: من الجنوب الصحاري القارية بجفافها وملوحتها، وفي الشمال أصقاع التندرا ببرودتها ومستنقعاتها والتي تمتد من مصب نهر أوب Ob حتى مصب نهر ينسي، وفيها تتجد مياه الأنهار طوال فصل الشتاء الذي يبلغ ثمانية شهور.

ويعد سهل سيبيريا من أكثر سهول العالم استواء فهو على الرغم من اتساعه العظيم الذي يبلغ ١٦٠٠ كيلومتر من الشمال إلى الجنوب ويبلغ مثلها من الشرق إلى الغرب لا توجد به منطقة واحدة يزيد ارتفاعها على ٢٠٠ متر والقاعدة التي ترتكز عليها هذه السهول تتألف من صخور نارية قديمة شبيهة بالصخور التي يتألف منها الرصيف الروسي. وقد تعرضت هذه الصخور للتعرية مدة طويلة قبل أن تغطيها رواسب العصور التالية فحولتها إلى منطقة تحاتية مستوية السطح. وقد حدث في الزمن الجيولوجي الثالث أن غمرت البحار بعض جهات المنطقة وملأت برواسبها الأجزاء المنخفضة منها وساعدت على تسوية سطحها وبذلك أعطت للمنطقة ظاهرة الاستواء العظيم التي تميزها.

يلي سهل سيبيريا في الجنوب قوس سهلي عملاق يطوق هضبة الدكن من الشمال، ويعرف قسمه الشرقي بسهول الجانج والبراهمابوترا فيما بين رأس خليج بنغال وأطراف سهل البنجاب في شمال غرب الباكستان، ففيما بين قواعد جبال الهميلايا في الشمال وأطراف الدكن في الجنوب، تنفرج أراض سهلية متسعة، ويدعي الجانب الغربية من هذا القوس السهلي بسهول السند، فيما بين البحر العربي وعقدة بامير الجبلية، شطره الجنوبي صحراء حارة، والشمالي شبه صحراء أقل قسوة وجدباً، ويدعى القسم الشمالي بسهل البنجاب الذي يمتزج شرقاً بالجانب الشرقي من القوس عبر سهول الجانج.

في الجنوب تمتد أشرطة ساحلية على جانبي شبه جزيرة الهند، وفي الغرب ما بين مياه البحر العربي وجبال الغابات الغربية يعرف القسم الجنوبي من السهل باسم ساحل مالابار Malaber Coast. أما السهل الساحلي في الشرق ما بين مياه خليج بنغال وجبال الغات الشرقية فأكثر سعة، ويمتد من أقصى جنوب شبه الجزيرة حتى دلتا الجانج، ويعرب طرفه الخارجي باسم ساحل كروماندل Coromandel Coast.

وتوجد في جنوب شرق القارة سهول بورما وتايلند وكمبوديا. أما القسم الجنوبي الغربي من القارة فتميزه سهول الرافدين. وفي شرق القارة تتغطى مساحات واسعة بسهول منشوريا وشمال الصين، وتمتد منها أشرطة كممرات عميقة تجاه الغرب، لكنها لا تصل قلب القارة النائي، وأحد هذه السهول ينتظم سلسلة من الأحواض تصل ما بين مصب نهر اليانجتسي وأقليم إيشانج (Ichang) في الداخل، أما سهل الصين الشمالي فيمتد في قوس يطوق تلال شبه جزيرة شانتونج، وينبسط شمالاً حتى قواعد تلال شمال الصين. وتبدأ سهول منشوريا من مياه البحر الأصفر، وتتسع باتجاه الشمال.

(٤) في أمريكا الشمالية:

تمتلك قارة أمريكا الشمالية نسبة عالية من أراضي السهول حتى لا يفوقها فيها سوى قارتي أوروبا وأستراليا، إذ تنتشر بها أراضي سهلية تمتد لمسافة تقرب من ٥٠٠٠ كيلومتر ابتداء من سواحل خليج المكسيك جنوباً حتى سواحل المحيط المتجمد الشمالي شمالاً، على طول امتداد وسط القارة، كما يمتد عرضاً بين الجبال الالتوائية الحديثة في غرب القارة وبين الجبال الالتوائية القديمة التي توجد في شرق القارة، ولذا فإن هذه المنطقة تعرف بالسهل العظيم. وتشغل أراضي هذا السهل العظيم ثنية مقعرة عظيمة الاتساع تمتد بين الجبال الحديثة في الغرب والجبال القديمة في الشرق، وهذه الثنية تفترش عليها التكوينات الرسوبية التابعة للزمنين الأول والثاني بامتداد أفقي تقريباً. ويشغل

هذا السهل نحو ثلاثة إرباع القارة ويتألف من أحواض المسيسبي والميسوري والأنهار التي تصب في خليج هدسن وحوض نهر ماكينزي. وهو عبارة عن أراضي منبسطة لا يزيد ارتفاعها في المتوسط عن ٣٠٠ متر وإن كان بها بعض المناطق التي يعلو مستواها عن ذلك كثيراً مثل منطقة البحيرات العظمى ومنطقة التلال السوداء في داكوتا ومنطقة أوزارك Ozark التي تقع بين نهري كانسباس وأركانساس.

وينبعث من المنطقة السهلية الداخلية شريط ساحلي ينتشر شمالاً حتى خليج سانت لورانس وينفصل بذلك عن الداخل بواسطة كتلة جبال الإبلاش، أما كتلة المرتفعات اللورنسية إلى الشمال من مصب سانت لورانس فتحد السهول الكندية الداخلية من الشرق.

(٥) في أمريكا الجنوبية:

تمتد السهول في وسط القارة وهي شبيهة في موقعها بالسهول الوسطى في أمريكا الشمالية، إذ تنحصر بين سلاسل التوائية حديثة في الغرب هي التي تتألف منها مجموعة الأنديز وبين مرتفعات من النوع القديم في الشرق. ويمكن تقسيم هذه السهول إلى ثلاث أقسام هي: سهل الأورينوكو وسهل الأمزون وسهول لابلاتا بما في ذلك منطقة البمبس.

أما سهول الأورينوكو فتتكون من رواسب من الرمل والحصى جلبتها الأنهار حديثاً وألقت بها فوق طبقات من الرواسب البحرية ترجع إلى الزمن الثالث. ويطلق على هذه السهول اسم اللانوس «llanos». وهي تنحد انحداراً تدريجياً نحو البحر. وتقطعها فروع الأورينوكو إلى أقسام عديدة.

أما سهول الأمزون فتكون من رواسب تابعة للزمنين الثاني والثالث وهي تملأ منطقة حوضية واسعة كونتها التعرية في التكوينات الأركية القديمة التي تتألف منها كتلة جيانا والبرازيل. ويحمل النهر إلى هذه المنطقة مقادير كبيرة من الرواسب تمتاز بغناها وخصوبتها. والأمطار في هذه السهول غزيرة جداً

والحرارة مرتفعة لذلك كانت منطقة هامة لإنتاج الغابات المدارية. ويجري النهر في تلك السهول المنبسطة في مجرى متسع كثير الفروع وليس أدل على انبساط تلك السهول واستواء سطحها من أن مدينة أكيتوس التي تقع على مجري النهر وتبعد عن مصبه بنحو ٢٢٥٠ كيلومتر لا تعلو عن مستوى سطح البحر بأكثر من ١٠٠ متر.

أما سهول لابلاتا فتتكون من رواسب نهرية شبيهة بتكوينات اللويس التي تنتشر في كثير من جهات أوروبا. وترتكز هذه الرواسب على تكوينات بحرية تابعة للزمن الثالث وهذه بدورها ترتكز على قاعدة قديمة تتألف من صخور أركية. وتعرف المنطقة السهلة التي تمتد إلى الشمال من سول لابلاتا بسهول البمبس، وهي سهول واسعة تكثر بها البحيرات الملحة والأنهار الداخلية التي تنتهي في البحيرات والمستنقعات، وأغلب الظن أن الرواسب التي تتكون منها قد جاءت بها الأنهار في وقت كانت الأمطار أغزر مما هي الآن ومن ثم كانت الأنهار أقدر على الحمل والإرساب مما هي الآن. وإلى الشمال من البمبس توجد منطقة سهلة أخرى تسمى جران شاكو «Gran Chaco» وتشغل مساحة عظيمة جداً من وسط القارة وتكثر بها المستنقعات والبحيرات. وإلى الشمال منها بقليل تمتد منطقة تقسيم المياه بين حوض الأمزون وبين مجموعة لابلاتا وهي أراض منخفضة تشبه في ارتفاعها منطقة التقسيم بين مجموعة المسيسيبي التي تنحدر نحو خليج المكسيك في الجنوب وبين المجموعة النهرية التي تنحدر نحو خليج هدسن في الشمال.

(٦) في أستراليا:

تتفوق نسبة الأراضي السهلية بهذه القارة الجزرية كثيراً على نسبة الأراضي الهضبية الجبلية. والصورة العامة للسهول الأسترالية تشبه في خصائصها سهول البمبس في أمريكا الجنوبية. وتشغل منطقة حوضية واسعة في وسط القارة تنحصر بين المرتفعات الفاصلة العظمى في الشرق «Grèat Dividing Range» وبين هضبة أستراليا في الغرب.

وتتألف التكوينات السطحية فيها من رواسب نهرية جاءت بها الأنهار من الشرق ومن الغرب وهذه ترتكز على تكوينات بحرية تابعة للزمن الثالث وترتكز التكوينات البحرية بدورها على قاعدة قديمة من الصخور النارية هي امتداد لكتلة الهضبة الغربية نحو الشرق.

ويضاف إلى الأراضي السهلية الداخلية في أستراليا مساحات لا بأس بها من السهول الساحلية الشريطية على جانبيها الشرقي والغربي.

الأهمية الجغرافية للسهول

تساعد سمات التسطح والاستواء في ظل بعض الظروف الطبيعية المناسبة على انتشار البشر بأعداد متكاثفة فوق أديم الأراضي السهلية، ويبدو ذلك الأمر واضحاً عند موازنة خريطتين إحداهما للتضاريس والأخرى لتوزيع السكان حول العالم، فباستثناء السهول الجليدية والحجرية ومناطق المستنقعات والأدغال الأستوائية، فإن بقية الأراضي السهلية تغص بسكانها حيث يسهل استثمارها في أغراض الزراعة وإقامة العمران وإنشاء شرايين المواصلات متى سمحت ظروف المناخ والتربة بذلك. وقد دفعت الحاجة إلى التوسع الزراعي بعض الدول إلى تجفيف الأجزاء الساحلية من الدلتاوات وتحويلها إلى مناطق زراعية ولكن بمجهودات وتكاليف كبيرة.

وتعتبر قارة أمريكا الشمالية قارة محظوظة بنصيبها من السهول الفسيحة، خاصة النطاق القاري الداخلي المتصل، كما سبق أن ذكرنا، حيث تقوم على أرضه الرحبة حياة زراعية غنية، يندر أن يوجد لها مثيل، فاستواء السطح ساعد على تطبيق الوسائل الآلية الحديثة على نطاق واسع في كافة عمليات الإنتاج بالجملة، يضاف إلى ذلك رطوبة المناخ ووفرة الأمطار والخصب النسبي للتربة عبر مساحات شاسعة، لهذا تشتهر هذه السهول بإنتاجها الهائل من أحزمة ثلاثة، هي حزام القطن جنوباً، يليه حزام الذرة في الوسط، فحزام القمح الشتوي ثم القمح الربيعي في الشمال.

المراجع العربية والأجنبية

المراجع العربية والأجنبية

أولاً: المراجع العربية:

- إبراهيم زرقانة وآخرون (١٩٥٤): أسس الجغرافية الطبيعية ـ القاهرة.
- جودة حسنين وحسن سيد أحمد أبو العينين (١٩٦٨).
سطح هذا الكوكب، ظواهره التضاريسية الكبرى. دار النهضة العربية ـ بيروت.
- جودة حسنين جودة (١٩٦٦): معالم سطح الأرض ـ الطبعة الخامسة ـ الهيئة المصرية العامة للكتاب، الإسكندرية.
- جودة حسنين جودة وفتحي محمد أبو عيانة: قواعد الجغرافية العامة: الطبيعة والبشرية. دار المعرفة الجامعية ١٩٨٢.
- جورج جامو (١٩٥٢): الشمس، قصتها من البداية إلى النهاية. الألف كتاب (٨٦) القاهرة ترجمة الدكتور أحمد عماد.
- حسن سيد أحمد أبو العينين (١٩٧٠): كوكب الأرض. بيروت.
- حسن سيد أحمد أبو العينين (١٩٦٨): أصول الجيومورفولوجيا، الطبعة الثانية، دار المعارف ـ الإسكندرية.
- دولت أحمد صادق، علي علي البنا (١٩٦٦): أسس الجغرافيا العامة، القاهرة.
- صلاح الدين نجيري (١٩٧٨): مبادىء الجغرافية الطبيعية، دار الفكر، دمشق.
- عبد العزيز طريح شرف (١٩٧٩): الجغرافية الطبيعية ـ أشكال سطح الأرض ـ الإسكندرية (الطبعة الثالثة).
- علي عبد الكريم علي (١٩٦٩): علم الجغرافية الطبيعية، دار الطباعة الحديثة، البصرة.
- عمر الحكيم (١٩٥٨): أسس الجغرافية الطبيعية، دمشق.

- فتحي عبد العزيز أبو راضي (١٩٨٣): أسس الجغرافية الطبيعية ـ دار المعرفة الجامعية، الإسكندرية.
- فتحي محمد أبو عيانة، فتحي عبد العزيز أبو راضي (١٩٩٢): أسس علم الجغرافيا ـ الطبيعية والبشرية ـ دار المعرفة الجامعية، الإسكندرية.
- فيليب رفله وأحمد سامي مصطفى (١٩٦٩): الجغرافية الطبيعية، مكتبة النهضة المصرية، القاهرة.
- محمد سامي عسل (١٩٧٢): الجغرافية الطبيعية ـ الجزء الأول ـ مكتبة الأنجلو المصرية، القاهرة.
- محمد صفي الدين أبو العز (١٩٥٧): قشرة الأرض، القاهرة.
- محمد متولي مرسي (١٩٤٩): وجه الأرض. الطبعة الثانية القاهرة.
- يحيى محمد أنور ومحمد العربي فوزي (١٩٦٤): الجيولوجيا الطبيعية والتاريخية. دار المعارف، القاهرة.
- يوسف عبد المجيد فايد (١٩٧١): جغرافية السطح، دار النهضة العربية، بيروت.

ثانياً: المراجع الأجنبية:

- Bergamini, David (1969): The Universe, New York.
- Berry, W.B.N. Growth of a Prehistoric Time Scale. San Francisco.
- Billirg, M.P. (1973): Structural Geology, New York.
- Brandt, J.C., and S.P. Moran (1972): New Horizons in Astronomy, W.H. Freeman, San Francisco.
- Cotton, C.A. (1918): Landscape, Wellington.
- Dott, R.H., Jr., and R.L. Patten (1971): Evolution of the Erth (2nd ed) New York.
- Eicher, D.L. (1976): Geologic Time (2nd ed.), New Jersey.
- Finch, V.V., et al (1957): Physical Elements of Geography, New York.
- Grass, I.G., P.J. Snoth, and C.L. Willson (editors) (1971): Understanding the Earth. Cambridge Press.
- Gree, Jack, and N.M. Short (1972): Volcanic Landformsn and surface Features, New York.
- Hess, H.H. (1962): History of Ocean Basins, The Geog. Soc. of America.
- Jastrow, Rober and M.H. Thompson: Astonomy: Fundamental.
- Kuhn, W. & Rittman, A. (1941): Ueber den Zustand des Erdinnern und seine Entsthung aus einem homogenen Urzustnd, GR. 32.
- Kumel, B. (1970): History of the Earth (2nd ed.) SAn Franscisco.
- Leveson, David (1972): A Sense of the Eartch, New York.
- Monskhouse, F.J. (1962): Principle of Physical Georgraphy, London.
- Patterson, Claire (1970): Age of Meteorites and the Earth, in, Adventure of Earth History (ed), Preston Cloun 8, San Fransisco.
- Strahler, A.N., Strahler, A.H. (1978): Modern Physical Georgraphy, John Wiley, N.Y. 1978.
- Simpson, B. (1966): Rocks and Minerals, New York.
- Williams, H.F.J. Turner, and C.M. Gilbert (1954): Petrography, San Francisco.

محتويات الكتاب